

특집 : 150°C 이하 저온에서의 미세 접합 기술

150°C 이하 저온에서의 미세 접합 기술

김선철 · 김영호[†]

Low Temperature bonding Technology for Electronic Packaging

Sun-Chul Kim and Youngh-Ho Kim[†]

(2012년 3월 8일 접수: 2012년 3월 20일 수정: 2012년 3월 22일 게재확정)

Abstract: Recently, flip chip interconnection has been increasingly used in microelectronic assemblies. The common Flip chip interconnection is formed by reflow of the solder bumps. Lead-Tin solders and Tin-based solders are most widely used for the solder bump materials. However, the flip chip interconnection using these solder materials cannot be applied to temperature-sensitive components since solder reflow is performed at relatively high temperature. Therefore the development of low temperature bonding technologies is required in these applications. A few bonding techniques at low temperature of 150°C or below have been reported. They include the reflow soldering using low melting point solder bumps, the transient liquid phase bonding by inter-diffusion between two solders, and the bonding using low temperature curable adhesive. This paper reviews various low temperature bonding methods.

Keywords: Low temperature bonding, flip chip bonding

1. 서 론

현재 많은 연구가 진행되고 있는 플립칩 기술(Flip chip technology)은 현대사회 전자제품의 다기능, 소형화 및 고성능이 요구됨에 따라 전자패키징 산업의 필수적인 기술이 되었다. 플립칩접합 기술이란 칩에 범프를 형성한 후, 이를 뒤집어 기판에 여러가지 방법을 통하여 실장하는 기술로 고밀도 실장이 가능하며, 경로가 짧아 전기적 특성이 우수하다는 등 여러가지 장점이 있어, 반도체소자 및 전자 부품의 접합에 적용되고 있다.¹⁾ 이 중에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 접합 방법은 솔더 범프의 용융을 이용한 접합방법이며, 이때 흔히 사용되는 솔더 재료로는 Pb-95Sn(용점: 305-315°C), 37Pb-63Sn(용점: 183°C), Sn-3.5Ag(용점: 221°C) solder 등이 있다. 하지만, 이러한 솔더를 용융시켜 접합을 하기 위해서는 솔더의 용점이상으로 온도를 올려야 하므로, 적어도 200~350°C 이상의 온도에서 접합공정이 수행되어야 한다.²⁾ 그러나 온도에 민감한 재료가 포함되어 있는 액정표시장치(liquid crystal display, LCD), 유기물 기반 트랜지스터(organic-based transistor), 영상센서(image sensor)와 같은 응용 분야에 적용하기 위해서는 저온에서 공정이 이루어져야 한다.²⁻⁵⁾ 또, 최근 들어 단단한 실리콘이나 유리 기판을 대신하여 잘 휘어지는 PET(polyethylene terephthalate), PEN(polyethylene naphthalate)과 같은 플라스틱 재질의 기판으로 교체하려는 움직임이 일어나고 있다.⁶⁾ 이러한 플라스틱 재질의 기

판을 사용하게 되는 경우에 저온에서 접합공정이 수행되어야 한다. 특히 PET의 경우 유리천이 온도가 약 75°C이므로, 공정온도에 매우 민감하다. 따라서 이와 같이 온도에 민감한 재료가 포함되어 있는 분야에 적용하기 위해 저온 공정, 특히 150°C이하에서의 접합 공정에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 대표적인 저온 접합 방법으로 150°C이하의 용점을 가지는 솔더를 용융시켜 접합하는 방법과, 두 종류의 솔더간 상호확산에 의한 접합 방법, 저온에서 경화되는 접착제를 이용한 접합 방법 등이 보고되고 있다. 여기서는 지금까지 개발된 저온 접합 공정들에 대해 그 종류와 특성을 정리하였다.

2. 150°C 이하의 용점을 가지는 솔더를 용융시켜 접합하는 방법

솔더를 용융시켜 접합하는 방법은 일반적으로 인쇄법(printing), 열증착법(thermal evaporation), 도금법(plating) 등의 방법으로 솔더 범프를 기판 위에 형성한 후, 열을 가하여 솔더를 용융시키고 용융된 솔더가 기판의 금속 패드와 반응하여 기판과 전기적으로 연결을 하는 방법이다.⁷⁾ 이 때 결합은 금속결합을 이루어지기 때문에 전기적, 기계적으로 매우 우수한 장점이 있다. 또, 칩의 범프와 기판의 패드 사이의 정렬오차가 다소 발생하여도 용융한 솔더의 표면장력에 의한 자가 정렬(Self Alignment) 효과가 있으므로 극미세피치 접합에 적합하다. 그러나, 기판쪽에

[†]Corresponding author
E-mail: kimyh@hanyang.ac.kr

하부금속층(under bump metallurgy, UBM)과 같은 솔더 젖음층이 포함된 패드를 제조해야되므로, 공정이 다소 복잡해지는 단점이 있다. 그리고, 하부금속층을 형성할 수 없는 구조에서는 이러한 공정을 적용하기가 어려워서 응용분야의 제약이 따른다.

2.1. 솔더 재료의 선택

솔더를 용융시켜 접합하는 방법을 저온공정에 적용하기 위해서는 솔더의 재료 선택이 매우 중요하다. 따라서 저온용 솔더 재료를 선택할 때 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다

1) 기본적으로 솔더 재료가 패드와의 젖음성이 좋아야 한다. 용융된 솔더가 패드에 퍼지게 되어 패드와 반응하게 되면서 계면에 금속결합 접합이 이루어진다. 이 때, 용융된 솔더가 패드 전체에 잘 퍼져야 하며, 금속과 반응하여 생성된 금속간화합물(intermetallic compound, IMC)층이 접합 품질을 좌우한다. 따라서 솔더와 패드사이엔 젖음성이 좋지않다면, 그 솔더는 사용할 수 없다.

2) 접합공정을 실시할 때, 솔더가 용융되어 패드와 결합을 해야되기 때문에 솔더의 용점보다 더 높은 온도에서 공정이 이루어져야 한다.^{2,7)} 따라서 150°C이하의 저온에서 접합공정을 진행하기 위해서는 용점이 150°C보다 더 낮은 솔더재료를 사용해야 한다.

3) 그 동안 납을 함유한 솔더가 많이 사용되고 있었는데, 최근에 환경문제로 인하여 납에 대한 사용규제가 시행됨에 따라 납이 함유된 솔더를 사용할 수 없다는 문제점이 있다. 그에 대한 대체 무연솔더로써, 가장 많이 쓰이고 있는 솔더는 Sn-Ag,^{2,8-11)} Sn-Ag-Cu^{2,12-15)} 및 Sn-Zn^{2,10,11,16)} 솔더인데, 이들의 용점은 각각 221°C, 217°C 및 198.5°C이므로 저용점 솔더로 적합하지 않다.¹⁷⁾ 따라서 새로운 무연솔더의 후보 물질로써 Cd, Bi 또는 In 합금들이 소개되고 있다.²⁾ 그러나, Cd의 경우 역시 독성이 있기 때문에 사용할 수가 없으므로 주로 In 합금 및 Bi 합금을 이용하여 150°C이하의 저온접합공정에 사용한 연구내용

들이 소개되었다.^{2,18)}

위와 같은 사항들을 고려하여 150°C이하의 저온공정으로 사용가능한 솔더 재료들과 그에 대한 용점을 Table 1에 나타내었다. 이중에서 일반적으로 많이 적용되고 있는 솔더는 58%Bi-42%Sn 솔더와 52%In-48%Sn 솔더이다. 이들은 패드와의 좋은 젖음(wetting) 특성을 가지고 있어 저용점 솔더의 후보로 많이 거론되고 있다. 58%Bi-42%Sn 솔더와 52%In-48%Sn 솔더의 경우, Fig. 1에서 보는 것과 같이 각각 138°C와 120°C에서 공정 온도(eutectic temperature)를 가진다. 실제로 이러한 58%Bi-42%Sn 솔더^{4,5,18)}와 52%In-48%Sn 솔더¹⁹⁻²¹⁾를 이용하여 150°C이하의 저온에서 접합 공정을 실시한 연구내용들이 많이 발표되었다.

2.2. Bi-Sn 솔더

58%Bi-42%Sn 솔더를 이용한 사례를 살펴보면, 솔더 페이스트를 이용한 방법,¹⁸⁾ 열증착(thermal evaporation) 방법,⁴⁾ 전해도금법⁵⁾ 등의 여러가지 방법을 통하여 솔더 범프를 형성한 후, 접합특성을 평가하였다. 시차주사열량(differential scanning calorimetry, DSC) 분석을 통해 58Bi-42Sn 솔더 페이스트가 용점 근처인 140°C에서 녹기 시작하여 160°C에서 완전히 녹는 것을 확인하였으며,¹⁸⁾ 따라서 150°C와 160°C에서 리플로(reflow)를 통한 접합에 성공할 수 있었다.⁴⁾ 또, Cu와의 젖음각(wetting angle)이 35°로 좋은 젖음 특성을 가지고 있었다.¹⁸⁾ 그러나 Pb-Sn에 비해 연성이 매우 떨어져 열피로 특성이 취약하다.^{18,22)}

2.3. In-Sn 솔더

52%In-48%Sn 솔더의 경우, 공정 온도가 117°C로 58%Bi-42%Sn 솔더에 비해 낮은 용점을 가지고 있다. 그리고 연성이 뛰어나기 때문에 좋은 열피로특성을 가지고 있으며, 젖음 특성 또한 매우 우수하여 저용점 솔더로 각광을 받고 있다.²²⁾ 그러나 재료 가격이 매우 비싼 단점이 있다.²⁾ 열증착 방법을 통해 In-Sn 솔더범프를 형성한 후,

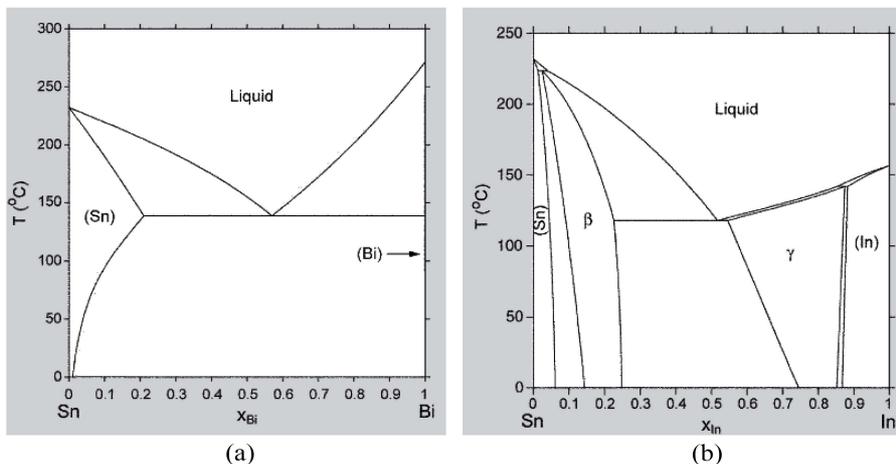


Fig. 1. The calculated phase diagram of (a) the Sn-Bi system and (b) the Sn-In system.¹⁷⁾

Table 1. melting temperature가 150°C이하의 solder alloys

solder composition (wt%)	melting temperature(°C)
58%Bi-42%Sn	138
52%In-48%Sn	117
66%In-33%Bi	72
31.6%Bi-48.8%In-19.6%Sn	59

150°C에서 리플로 공정을 통하여 접합부(joint)를 형성하는데 성공하였다.¹⁹⁾ 열피로 시험 결과, In-Sn 솔더접합부의 피로수명(fatigue life)이 Sn-Pb 솔더접합부보다 우수하였다. 이는 In계 솔더가 Sn-Pb보다 연성이 크기 때문에 나타난 결과로 해석하였다.¹⁹⁾

2.4. Bi-In-Sn 솔더

Table 1에서 보는 것과 같이 2원계 솔더 중 가장 낮은 용점을 가지는 66%In-33%Bi 솔더가 있다. 그러나 이는 패드와의 젖음성이 매우 떨어져서 저용점 솔더로 사용하기에는 다소 어려움이 있다.²⁾ 따라서 최근에 Bi-In에 Sn을 첨가한 31.6%Bi-48.8%In-19.6%Sn의 3원계 합금을 솔더로 적용한 연구 내용이 발표되었다.³⁾ 리플로 온도를 80°C에서 140°C로 변화 시키며, 리플로 온도에 따른 젖음 특성과 강도의 변화를 연구하였다. 리플로 온도가 올라갈수록 금속산화합물의 두께가 증가하고, 젖음 특성이 좋아졌으며, 전단강도(shear strength)값도 증가하였다. 그러나 3가지 원소를 가지는 솔더는 도금이 어려워 미세범프 형성이 어려울 수 있다. 따라서 In-31.6Bi-19.6Sn solder를 실제로 산업계에 적용하기 위해서는 좀더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3. 두 종류의 솔더간 상호확산에 의한 접합 방법

Fig. 1에서 보는 것과 같이 공정 반응이 가능한 조성이 다른 두 종류의 솔더를 접촉시킨 후, 압력과 열을 가하면 두 솔더 사이에서 상호확산이 일어나게 된다. 이러한 두 솔더의 상호확산에 의해 접합부가 공정 조성에 도달하면 공정 반응이 일어나 낮은 온도에서 솔더가 용융되어 접합이 이루어진다. 예를 들어, Bi과 Sn의 경우, Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 상호 확산에 의해 Sn과 Bi가 합금을 이루게 되고 공정 조성에 도달하면 138°C이상에서 용융된다. 따라서 낮은 온도에서 접합공정이 가능하게 된다.

이러한 원리를 이용하여 150°C이하에서 In과 Sn에 대한 접합을 실시한 연구내용이 발표되었다. 칩과 기판에 각각 Sn과 In을 형성한 후, In과 Sn을 서로 접촉시키는 방법^{23,24)}과 칩에 Sn과 In을 차례대로 형성한 후, 접합하는 방법^{25,26)} 등 2가지 형태로 소개되었다.

첫번째 형태로, Fig. 2와 같이 기판과 칩에 각각 In 범프와 Sn 범프를 형성한 후, 열과 압력을 가하여 접합을 실시하였다. 이 때, In 범프와 Sn 범프의 산화방지를 위하

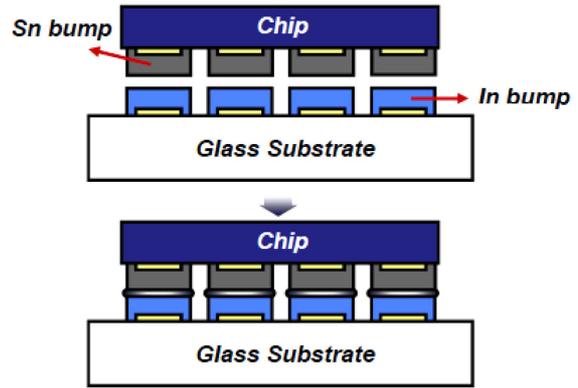


Fig. 2. In bump to Sn bump bondin process.

여 플럭스(flux)를 사용하였으며, In과 Sn의 각각의 용점보다 훨씬 낮은 125°C에서 접합에 성공하였다.²³⁾ 또, In 범프와 Sn 범프 표면에 Ag를 코팅하면, 플럭스없이 접합이 가능하다. 또한, Ag를 코팅한 접합부가 코팅하지 않은 접합부에 비해 더 좋은 접합강도를 가지고 있는데, 이는 Ag층이 없는 경우에 표면산화층이 상호확산을 방해하여 접합부가 약해지기 때문이다.²⁴⁾

두번째 형태로, Sn과 In을 칩에만 순차적으로 형성한 후, 열과 압력을 가하여 접합을 실시한 형태가 소개되었다.^{25,26)} 이때, Au층을 산화방지를 위해 형성하였다. 일정 압력하에서 온도를 가하면 In과 Sn사이에 액상이 형성되고 중간상이 형성되면서 접합이 일어나게 된다.²⁵⁾ 이 방법으로 140°C에서 플럭스를 사용하지 않고 성공적으로 접합이 이루어졌다고 보고되었다. 이렇게 형성된 접합부의 기계적 신뢰성을 측정된 결과는 아직 보고되고 있지 않다.

이와 같은 공정에서 In과 Sn을 이용한 것처럼 상호확산에 의해 공정 조성을 얻을 수 있는 Bi-Sn 등과 같이 공정 반응을 하는 솔더에서도 솔더간의 상호확산을 통해 각 상의 용점보다 낮은 온도에서 저온접합이 가능할 것이다.

4. 저온에서 경화되는 접착제를 이용한 접합 방법

저온 실장 기술로 저온에서 경화되는 접착제를 이용한 접합 방법이 있다. 이러한 접착제를 이용한 접합방법은 비교적 간단하게 적용할 수 있으며, 하부금속층 형성과 같은 추가적인 공정이 필요 없고, 솔더링(soldering)이 불가능한 다양한 응용 분야에서도 사용할 수 있는 장점이 있어서 COG(Chip on Glass)와 COF(Chip on Film), 플립 칩기술 등에 많이 사용되고 있다. 그러나, 대부분의 접합부들은 접착제에 의한 기계적인 접촉만으로 전기적 연결이 이루어지기 때문에, 비교적 결합력이 약한 단점이 있다. 또, 접착제 자체의 열적, 기계적, 전기적 특성에 영향을 매우 많이 받으며, 특히 접착체의 높은 열팽창계수로 인한 신뢰성 문제가 존재한다. 본 방법에서 일반적으로

많이 사용되는 접착제의 종류는 등방성 도전성 접착제 (Isotropic Conductive Adhesive, ICA), 이방성전도필름 (Anisotropic Conductive Film, ACF) 또는 이방성전도접착제 (Anisotropic Conductive Adhesive, ACA)와 비전도성접착제 (Nonconductive Adhesive, NCA)로 크게 3가지로 나눌 수 있다.

4.1. 등방성 도전성 접착제를 이용한 접합 방법

등방성 도전성 접착제는 일반적으로 폴리머레진 (polymer resin)과 Ag 입자와 같은 도전성 필러 (conductive filler)로 구성되어 있으며, 이러한 등방성 도전성 접착제로 패드사이를 전기적으로, 기계적으로 연결하게 된다.²⁷⁾ 등방성 도전성 접착제를 이용한 접합방법은 플렉스를 사용하지 않는 공정이 가능하며, 폴리머 자체의 탄성력으로 인해 좋은 열피로 저항성을 가지는 장점이 있다.²⁸⁾

그러나 등방성 도전성 접착제를 이용한 방법에는 여러 가지 한계점이 있다. 이 방법에서는 등방성 도전성 접착제 자체가 범프의 역할을 하기 때문에, 접착제의 전기적 특성이 매우 중요하다. Ag의 함량이 높을수록 비저항이 낮아지며, 같은 함량일 때는 Ag입자의 크기가 작을수록 비저항이 낮아진다.^{27,29,31)} 또, Ag 나노와이어³⁰⁾, Ag가 코팅된 나노탄소튜브³²⁾를 이용하여 비저항을 낮추려는 연구가 진행되어왔다. 그러나 Table 2에서 보는 것과 같이 모든 등방성 도전성 접착제의 비저항은 일반적인 Sn-Pb solder에 비해 매우 높으므로 전기적특성에서 매우 큰 약점을 가지고 있다. 또한, 언더필 (underfill)과 같은 추가적인 공정이 필요하고, 등방성 도전성 접착제를 패드사이에 선택적으로 형성해야 되기 때문에 공정이 복잡해지는 단점이 있다.^{27,28)}

4.2. 이방성전도필름을 이용한 접합 방법

이방성전도필름을 이용한 접합 방법은 현재 COG분야 등 유리기판에서의 미세 접합 방법으로 가장 많이 사용되고 있는 접합 방법이다.³⁵⁻³⁷⁾ 이 방법은 Fig. 3에서 보는 것과 같이 범프와 패드사이에 전도성 입자가 포함된 이방성전도필름을 위치한 후, 열과 압력을 가하게 되면 일부 전도성 입자가 범프와 패드 사이에 끼게 된다. 따라서 범프와 패드사이에서는 전기가 통하지만, 인접한 범프들 사이에서는 전기가 통하지 않도록 하는 방법이다. 열을 가하면 접합도중 이방성전도필름이 경화되므로 접합부

Table 2. The bulk resistivity of ICA and Pb-Sn solder

	Bulk resistivity (Ωcm)	Filler content (wt%)
40%Sn-60%Pb ³³⁾	3×10^{-5}	>95
ICA filled Ag flask ³⁴⁾	4.23×10^{-3}	70
ICA filled Ag nanowires ³⁰⁾	1.2×10^{-4}	56
ICA filled Ag coated carbon nanotubes ³²⁾	2.21×10^{-4}	41

를 기계적으로 고정할 수 있다. 그러나 현재까지 연구발표된 이방성전도필름의 경화 온도는 150°C부터 250°C까지로 비교적 높은 경화 온도를 가지고 있어, 150°C이하의 저온 접합 공정에 아직 적용되지 않고 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 초음파 에너지를 이용한 플립칩 기술이 소개되었다.^{38,39)} 이 기술은 열 대신에 초음파 에너지를 통해 이방성전도필름을 경화하는 방법으로 약 60°C에서 접합에 성공하였다. 이방성전도필름을 이용한 접합 방법은 선택적으로 형성하지 않아도 되며, 언더필과 같은 공정이 없어서 등방성 도전성 접착제를 이용한 접합방법에 비해 공정이 간단한 장점이 있다.

이러한 이방성전도필름은 액정표시장치와 같은 평판 표시 장치 (flat panel display, FPD)의 패키징 기술에 많이 사용되고 있다. 최근에는 이러한 평판 표시 장치들이 고집적화, 다기능화됨에 따라 구동회로의 패키징 기술에서도 극미세피치 접합 기술이 요구되고 있다. 그러나 극미세피치에서는 Fig. 4에서 보는 것과 같이 인접한 범프사이에 전도성 입자가 끼어 전기적 단락이 발생하는 문제가 발생하기 때문에 극미세피치에서 이방성전도필름을 적용하기가 어렵다.^{4,40)} 이러한 문제를 해결하기 위해 범프 옆면에 절연층을 입혀 인접한 범프 사이의 전기적 단락을 방지하는 방법이 개발되었다.⁴¹⁾ 이 방법은 20~25 μm 피치 이하의 COG접합에 적용이 가능하다.

4.3. 비전도성접착제를 이용한 접합 방법

전도성 입자가 없으며, 오직 접착제만으로 구성된 비전도성접착제를 이용한 접합방법은 Fig. 5에서 보는 것과 같이 범프와 패드가 직접 접촉되도록 하여 전기적으로 연

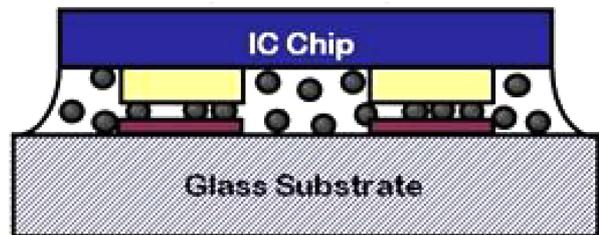


Fig. 3. The schematic diagram of ACF bonding.

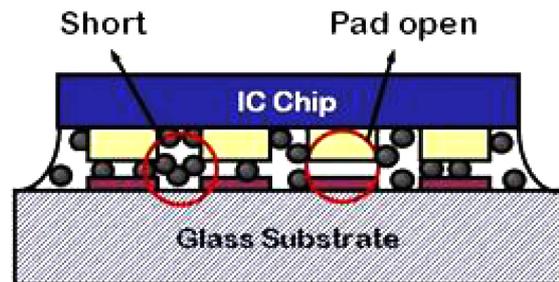


Fig. 4. The schematic diagram of short and open problems in fine pitch ACF bonding.

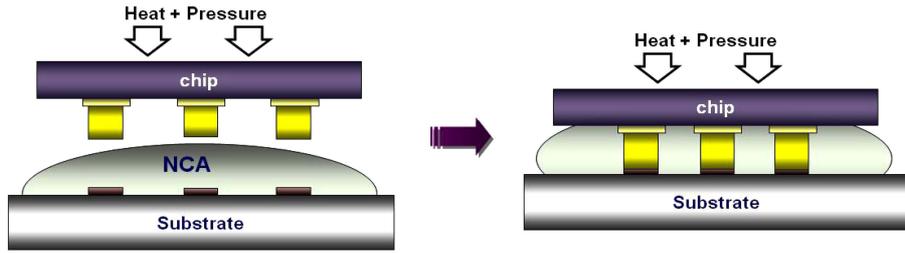


Fig. 5. The schematic diagram of NCA bonding.

결하는 방법이다. 여기에서 주로 사용되는 범프는 금 스테드(Au stud) 범프⁴²⁾와 Ni/Au 범프,^{43,44)} Au 범프,^{45,46)} Sn 범프 또는 Sn/Cu 범프^{47,48)} 등이 있다. 이 경우에는 범프의 전면적이 전기적으로 접촉되므로 이방성전도필름을 사용한 접합 방법에 비해 낮은 접촉저항을 나타내며, 전도성 입자를 사용하지 않으므로 소재의 가격을 낮추는 장점이 있으며, 미세피치에서도 인접한 범프간 전기적 단락이 발생하지 않는다. 그러나, 이방성전도필름의 경우에서 탄성력이 있는 전도성 입자의 변형을 이용하여 범프의 높이 차이를 충분히 보정해줄 수 있으나, 비전도성접착제의 경우에는 전도성 입자가 없기 때문에 범프의 높이 차이를 보정해줄 수 없다. 따라서 Fig. 6와 같이 전기적 오픈 현상이 발생하게 된다. 이를 보완하기 위해 Au 범프나 Sn계 범프의 소성변형을 통해 높이를 보정해줌으로 전기적 오픈 현상을 방지할 수 있었다.^{42,47,48)} 이 중에서 Sn계 범프를 사용한 접합방법의 경우 Au 범프에 비해 경제적이고, Au보다 Sn이 훨씬 더 연성이 뛰어나므로 작은 힘으로도 효과적인 소성변형이 가능한 장점이 있다. 그러나 20~30 μm의 극미세피치에서 Sn계 범프의 소성변형이 많이 일어나게 되면서 전기적 단락이 발생하는 문제가 발생하였다.⁴⁹⁾ 따라서 Sn의 양을 줄인 Sn/Cu 복합 범프를 이용하여 솔더 범프의 소성변형이 적게 되도록 하여 이 문제를 해결하였다. 실제로 Sn/Cu 범프를 이용하여 20~30 μm의 극미세피치에서 성공적으로 접합부를 형성하였다.^{49,50)}

이 방법의 접합온도는 비전도성접착제의 경화 온도에 따라 달라지므로 낮은 온도에서 경화되는 접착제를 사용하면 매우 낮은 온도에서 접합할 수 있다. 실제로, 100°C 이하에서 경화되는 비전도성접착제를 사용하여 COP (Chip on Plastic) 접합을 성공한 내용이 발표되었다.⁵¹⁾ 60°C와 100°C에서 각각 접합에 성공하였으며, 60°C의 경우가 100°C의 경우보다 저항값이 비교적 높게 나타났으며, 초기 저항에서 불량(failure)이 나타나는 범프가 일부 확인되었다. 물론 신뢰성 테스트 과정에서 범프와 패드 사이의 상호확산에 의해 접촉이 더욱 견고해짐에 따라 저항값이 줄어들어 불량이 발견되지 않는 것을 확인할 수 있었지만, 초기에 낮은 접합 온도(60°C)로 인하여 완벽하게 접합이 되지 않는 점은 문제가 될 수 있다.

현재까지 소개된 이방성전도필름 또는 비전도성접착

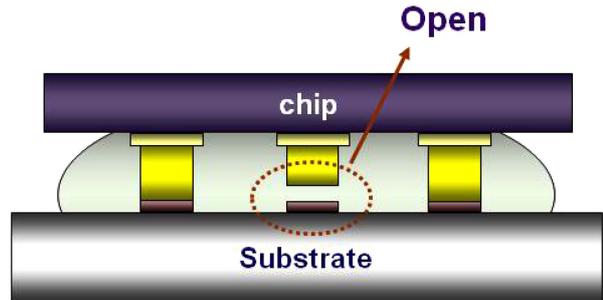


Fig. 6. The schematic diagram of open problems in NCA bonding.

제의 경화 온도는 대부분이 150°C~200°C이며, 초음파 에너지를 이용한 접합 방법의 경우와 일부 비전도성접착제를 사용한 경우에서만 100°C 이하에서 접합공정이 수행되었다. 따라서 150°C이하에서 경화되는 이방성전도필름 또는 비전도성접착제의 개발이 필수적이며, 또한 접착제 자체의 높은 열팽창계수를 보완하는 방법 등 앞으로도 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5. 기타 저온 접합 방법

이밖의 저온 실장 방법으로는 초음파를 이용한 금속범프 사이의 접합 방법과 SAB(Surface Activated Bonding) 접합이 있다. 초음파 에너지를 이용한 접합 공정은 열과 압력 대신에 초음파 에너지를 이용하여 접합하는 방법이다. 실제로 미세피치의 Au 범프를 형성한 후, 150°C에서 접합에 성공한 연구내용이 발표되었다.⁵²⁾ 초음파 에너지를 이용한 접합 방법은 열압착방식에 비해 매우 짧은 접합 시간에서 접합이 가능한 장점이 있으며, 보다 낮은 온도에서 접합공정을 수행할 수 있다.⁵²⁾ 초음파 접합부는 열압착방식과 비슷한 전기적 특성을 가지고 있었으며, 접합부를 관찰한 결과, 열압착방식에서 주로 발생하는 광범위의 고상확산(solid phase diffusion) 없이 원자수준에서 고상접합(solid phase bonding)이 이루어졌음을 알 수 있었다. 신뢰성에 대한 결과는 아직 보고되고 있지 않지만, 합리적인 신뢰성을 나타낼 것으로 예상할 수 있다.

다음으로 SAB 접합방법을 이용하여 상온에서 Cu-Cu 접합을 실시한 연구내용이 발표되었다.⁵³⁻⁵⁵⁾ 매우 깨끗한 두개의 금속이 맞닿아있을 때, 서로 결합이 되는 원리를

이용한 접합 방법으로, 매우 높은 결합력을 가지고 있다. 실제로 2 mΩ으로 매우 낮은 저항값을 나타내었으며, 1000시간동안 열시효시험(thermal aging test)을 진행하였음에도 저항값의 변화가 거의 없었다. 그러나 이러한 접합이 진행되기 위해서는 초고진공의 환경이 필요하며, 금속 표면이 매우 깨끗해야 된다. 특히, Cu의 경우 매우 산화가 잘되므로 산화층을 완벽하게 제거하기 위한 설비가 필요하다. 이러한 이유로 이 방법을 산업계에 적용하기에는 매우 힘들다.

6. 맺음말

본 논문에서는 대표적인 150°C 이하의 저온 공정기술에 대하여 소개하고, 각 기술에 대한 특성을 정리하였다. 구체적으로는 150°C 이하의 용점을 가지는 솔더를 용융시켜 접합하는 기술, 조성이 다른 두 가지 종류의 솔더의 상호확산을 통해 접합하는 기술과 ACF나 NCA와 같은 저온에서 경화되는 접착제를 이용한 접합하는 기술을 소개하였다. 솔더를 용융시켜 접합하는 기술과 솔더의 상호확산을 통해 접합하는 기술은 금속결합에 접합이 이루어지므로 우수한 전기적, 기계적 특성을 가지고 있다. 그러나 솔더재료로 Bi-Sn 합금과 In-Sn 합금과 같이 공정점(eutectic point)이 150°C 이하인 솔더재료를 사용해야 되기 때문에 솔더 재료에 대한 제한이 있으며, 기관쪽에도 하부금속층과 같은 솔더 젖음층이 포함된 패드를 제조해야 하는 단점이 있다. 이러한 방법들은 기관쪽에 추가공정이 필요하게 되므로 응용분야에 따라 이런 공정이 불가능한 경우도 있고, 제조할 수 있더라도 공정가격이 증가하는 단점이 있다. 그에 반해, 접착제를 이용한 접합 방법의 경우, 기관에 추가공정이 필요하지 않으며, 솔더 재료 및 범프에 제약이 없이 비교적 간단하게 접합을 실시할 수 있다. 또 솔더의 용융접합이 아니라 접착제의 의한 기계적인 접촉을 통해 전기적으로 연결되므로, 낮은 온도에서 경화되는 접착제의 개발만 선행된다면, 얼마든지 공정온도를 낮출 수 있다. 그러나, 일반적으로 접착제에 의한 접합 방법은 기계적결합만 이루어지므로 화학적결합에 비해 결합력이 약하고, 접착제에 대한 영향을 많이 받는다. 특히, 접착제 자체의 높은 열팽창계수로 인하여 신뢰성 문제가 심각한 단점이 있다.

감사의 글

이 연구(논문)는 지식경제부의 지식경제 프론티어기술 개발사업인 차세대정보디스플레이기술개발사업단의 연구비(F0004061-2011-34)지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. J. H. Lau, Flip chip technologies, McGraw-Hill Professional,

- (1996).
2. M. Abtey and G. Selvaduray, "Lead-free solders in micro-electronics", *Materials Science and Engineering R: Reports*, 27(5), 95 (2000).
 3. E. E. M. Noor, N. M. Sharif, C. K. Yew, T. Ariga, A. B. Ismail and Z. Hussain, "Wettability and strength of In-Bi-Sn lead-free solder alloy on copper substrate", *Journal of Alloys and Compounds*, 507(1), 290 (2010).
 4. U. B. Kang and Y. H. Kim, "A new COG technique using low temperature solder bumps for LCD driver IC packaging applications", *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 27(2), 253 (2004).
 5. Y. G. Lee, J. G. Park, C. W. Lee and J. P. Jung, "Electrodeposition of the Sn-58 wt.%Bi layer for low-temperature soldering", *Metals and Materials International*, 17(1), 117 (2011).
 6. S. Logothetidis, "Flexible organic electronic devices: Materials, process and applications", *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 152(1-3), 96 (2008).
 7. J. W. Evans, W. Engelmaier, D. Kwon and J. Y. Evans, "A guide to lead-free solders: physical metallurgy and reliability", Springer, 2007.
 8. H. T. Lee, Y. F. Chen, T. F. Hong, K. T. Shih and C. W. Hsu, "Microstructural evolution of Sn-3.5Ag solder with lanthanum addition", pp.617, Beijing, China (2009).
 9. B. R. Flachsbarth and K.-C. Hsieh, "Fluxless Sn-Ag solder ball formation for flip-chip application, in: R. Feldman Michael", Y.-C. Lee (Eds.), *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, pp.54, San Jose, CA, USA (1996).
 10. H. Mavoori, S. Vaynman, J. Chin, B. Moran, L.M. Keer and M. E. Fine, "Mechanical behavior of eutectic Sn-Ag and Sn-Zn solders", in: C.R. Sundahl, K.-N. Tu, A.K. Jackson, P. Borgesen (Eds.), *Materials Research Society*, pp.161, San Francisco, CA, USA (1995).
 11. H. Mavoori, J. Chin, S. Vaynman, B. Moran, L. Keer and M. Fine, "Creep, stress relaxation, and plastic deformation in Sn-Ag and Sn-Zn eutectic solders", *Journal of Electronic Materials*, 26(7), 783 (1997).
 12. R. K. Chinnam, C. Fauteux, J. Neuenschwander and J. Janczak-Rusch, "Evolution of the microstructure of Sn-Ag-Cu solder joints exposed to ultrasonic waves during solidification", *Acta Materialia*, 59(4), 1474 (2011).
 13. M. Erinc, P.J.G. Schreurs, M.G.D. Geers, "Intergranular thermal fatigue damage evolution in SnAgCu lead-free solder", *Mechanics of Materials*, 40(10), 780 (2008).
 14. W. Zhou, Y. Tian and C. Wang, "Microstructure of Sn-Ag-Cu lead-free flip chip interconnects during aging", *Proc. 6th International conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT 2005)*, 427 (2005).
 15. Y. H. Tian, C. Q. Wang and W. F. Zhou, "Evolution of microstructure of Sn-Ag-Cu lead-free flip chip solder joints during aging process", *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 19(4), 301 (2006).
 16. K. Sukanuma and K. S. Kim, "Sn-Zn low temperature solder", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 18(1-3), 121 (2007).
 17. U. R. Kattner, "Phase diagrams for lead-free solder alloys", *JOM*, 54(12), 45 (2002).
 18. Z. Mei and J. W. Morris, "Characterization of eutectic Sn-Bi solder joints", *Journal of Electronic Materials*, 21(6), 599

- (1992).
19. K. Shimizu, T. Nakanishi, K. Karasawa, K. Hashimoto and K. Niwa, "Solder joint reliability of indium-alloy interconnection", *Journal of Electronic Materials*, 24(1), 39 (1995).
 20. J. H. Choi, K. Y. Lee, S. W. Jun, Y. H. Kim and T. S. Oh, "Contact resistance of the chip-on-glass bonded 48Sn-52In solder joint", *Materials Transactions*, 46(5), 1042 (2005).
 21. C. Y. Huang and S. W. Chen, "Interfacial reactions in In-Sn/Ni couples and phase equilibria of the In-Sn-Ni system", *Journal of Electronic Materials*, 31(2), 152 (2002).
 22. S. K. Kang and A. K. Sarkhel, "Lead (Pb)-free solders for electronic packaging", *Journal of Electronic Materials*, 23(8), 701 (1994).
 23. M. S. Lee, U. B. Kang and Y. H. Kim, "A new low temperature bonding technique using In and Sn solder bumps", *Proc. International conference on Electronic Materials and Packaging (EMAP 2003)*, 93 (2003).
 24. S. H. Lee and Y. H. Kim, "Shear strength of fluxless solder joints between Sn and in bumps", *Key Engineering Materials*, 297-300, 857 (2005).
 25. S. Choe, W. W. So and C. C. Lee, "Low temperature fluxless bonding technique using In-Sn composite", in *IEEE*, pp. 114, Las Vegas, NV, USA (2000).
 26. C. C. Lee and S. Choe, "Fluxless In-Sn bonding process at 140°C", *Materials Science and Engineering A*, 333(1-2), 45 (2002).
 27. Y. Li and C.P. Wong, "Recent advances of conductive adhesives as a lead-free alternative in electronic packaging: Materials, processing, reliability and applications", *Materials Science and Engineering R: Reports*, 51(1-3), 1 (2006).
 28. I. Mir and D. Kumar, "Recent advances in isotropic conductive adhesives for electronics packaging applications", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 28(7), 362 (2008).
 29. K. Dai, G. Zhu, L. Lu and G. Dawson, "Easy and Large Scale Synthesis Silver Nanodendrites: Highly Effective Filler for Isotropic Conductive Adhesives", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21(3), 353 (2011).
 30. H. P. Wu, J. F. Liu, X. J. Wu, M. Y. Ge, Y. W. Wang, G. Q. Zhang and J. Z. Jiang, "High conductivity of isotropic conductive adhesives filled with silver nanowires", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 26(8), 617 (2006).
 31. H. H. Lee, K. S. Chou and Z. W. Shih, "Effect of nano-sized silver particles on the resistivity of polymeric conductive adhesives", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 25(5), 437 (2005).
 32. H. P. Wu, X. J. Wu, M. Y. Ge, G. Q. Zhang, Y. W. Wang and J. Jiang, "Properties investigation on isotropical conductive adhesives filled with silver coated carbon nanotubes", *Composites Science and Technology*, 67(6), 1182 (2007).
 33. S. K. Kang, R. S. Rai and S. Purushothaman, "Development of high conductivity lead (Pb)-free conducting adhesives", *IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology Part A*, 21(1), 18 (1998).
 34. L. Ye, Z. Lai, J. Liu and A. Thölen, "Effect of Ag particle size on electrical conductivity of isotropically conductive adhesives", *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 22(4), 299 (1999).
 35. Y. C. Chan and D.Y. Luk, "Effects of bonding parameters on the reliability performance of anisotropic conductive adhesive interconnects for flip-chip-on-flex packages assembly I. Different bonding temperature", *Microelectronics Reliability*, 42(8), 1185 (2002).
 36. M. J. Rizvi, Y. C. Chan, C. Bailey, H. Lu and A. Sharif, "The effect of curing on the performance of ACF bonded chip-on-flex assemblies after thermal ageing", *Soldering and Surface Mount Technology*, 17(2), 40 (2005).
 37. M. A. Uddin, M. O. Alam, Y. C. Chan and H. P. Chan, "Adhesion strength and contact resistance of flip chip on flex packages - Effect of curing degree of anisotropic conductive film", *Microelectronics Reliability*, 44(3), 505 (2004).
 38. K. Lee, H. J. Kim and K. W. Paik, "Room temperature ACF bonding process using ultrasonic vibration for chip-on-board and flex-on-board applications", *Proc. International Conference on Electronic Materials and Packaging (EMAP 2007)*, 1 (2007).
 39. K. Lee, S. Oh, I. J. Saarinen, L. Pykari and K. W. Paik, "High-speed flex-on-board assembly method using anisotropic conductive films (ACFs) combined with room temperature ultrasonic (US) bonding for high-density module interconnection in mobile phones", *Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, pp.530, Lake Buena Vista, FL, U.S.A (2011).
 40. C. M. Lin, W. J. Chang and T. H. Fang, "Analysis of new anisotropic conductive film (ACF)", *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 5(4), 694 (2005).
 41. M. H. Hong, S.-C. Kim and Y.-H. Kim, "Ultra-fine pitch chip-on-glass (COG) bonding with metal bumps having insulating layer in the side walls using anisotropic conductive film (ACF)", *Current Applied Physics*, 12(3), 612 (2012).
 42. M. J. Yim, J. S. Hwang, W. Kwon, K. W. Jang and K. W. Paik, "Highly reliable non-conductive adhesives for flip chip CSP applications", *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 26(2), 150 (2003).
 43. L. K. Teh, E. Anto, C. C. Wong, S. G. Mhaisalkar, E. H. Wong, P. S. Teo and Z. Chen, "Development and reliability of non-conductive adhesive flip-chip packages", *Thin Solid Films*, 462-463(SPEC. ISS.), 446 (2004).
 44. L. K. Teh, C. C. Wong, S. Mhaisalkar, K. Ong, P. S. Teo and E. H. Wong, "Characterization of Nonconductive Adhesives for Flip-Chip Interconnection", *Journal of Electronic Materials*, 33(4), 271 (2004).
 45. Y. C. Chan, S. C. Tan, N. S. M. Lui and C. W. Tan, "Electrical characterization of NCP- and NCF-bonded fine-pitch flip-chip-on-flexible packages", *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, 30(1), 142 (2007).
 46. H. C. Cheng, C. L. Ho, K. N. Chiang and S. M. Chang, "Process-dependent contact characteristics of NCA assemblies", *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 27(2), 398 (2004).
 47. B. Y. Kim, Z. Chen and Y. H. Kim, "Chip-on-glass bonding using sn bump and non-conductive adhesive for LCD application", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 458(1), 199 (2006).
 48. K. M. Harr, Y. M. Kim, D. H. Lim, Y. H. Kim, J. G. Kim and S. Yi, "A new COF bonding technique using Sn bumps and a non-conductive adhesive (NCA) for image sensor packaging", *Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, pp.1475, San Diego, CA (2009).
 49. B. G. Kim, S. M. Lee, Y. S. Jo, S. C. Kim, K. M. Harr and

- Y. H. Kim, "Highly reliable, fine pitch chip on glass (COG) joints fabricated using Sn/Cu bumps and non-conductive adhesives", *Microelectronics Reliability*, 51(4), 851 (2011).
50. B. G. Kim, S. M. Lee and Y. H. Kim, "The reliability of 30 μm pitch COG joints fabricated using Sn/Cu bumps and non-conductive adhesive", *Proc. International Conference on Electronic Materials and Packaging (EMAP 2007)*, 1 (2007).
51. Z. G. Chen and Y. H. Kim, "A new COP bonding using non-conductive adhesives for LCDs driver IC packaging", *Displays*, 27(3), 130 (2006).
52. K. Tanida, M. Umemoto, Y. Tomita, M. Tago, R. Kajiwara, Y. Akiyama and K. Takahashi, "Au bump interconnection with ultrasonic flip-chip bonding in 20 μm pitch", *Japanese Journal of Applied Physics, Part 1: Regular Papers and Short Notes and Review Papers*, 42(4B), 2198 (2003).
53. A. Shigetou, T. Itoh and T. Suga, "Bumpless interconnect of ultrafine Cu electrodes by surface activated bonding (SAB) method", *Electronics and Communications in Japan, Part II: Electronics (English translation of Denshi Tsushin Gakkai Ronbunshi)*, 89(12), 34 (2006).
54. T. H. Kim, M. M. R. Howlader, T. Itoh and T. Suga, "Room temperature Cu-Cu direct bonding using surface activated bonding method", *Journal of Vacuum Science and Technology A: Vacuum, Surfaces and Films*, 21(2), 449 (2003).
55. T. Suga, "Feasibility of surface activated bonding for ultra-fine pitch interconnection - a new concept of bump-less direct bonding for system level packaging", *Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, pp.702, Las Vegas, NV, USA (2000).



- 김선철 (金宣澈)
 - 1986년생
 - 한양대학교 신소재공학과
 - 전자 패키징, 패키지 신뢰성
 - E-mail: kimsc@hanyang.ac.kr
-



- 김영호 (金映鎬)
 - 1956년생
 - 한양대학교 신소재공학과
 - 전자 패키징, 나노소재 등
 - E-mail: kimyh@hanyang.ac.kr
-