

Flip Chip PKG 신뢰성 향상을 위한 Flux Immunity 개선 MUF 구현 방안 연구

이준신 · 이현숙 · 김민석 · 김성수 · 문기일[†]

경기도 이천시 부발읍 경충대로 2091, SK 하이닉스, PKG 개발

A Study on Flux Immunity MUF for Improving Flip Chip PKG Reliability

Junshin Lee, Hyunsuk Lee, Minseok Kim, Sungsu Kim, and Kiill Moon[†]

PKG Development, SK Hynix Co., 2091, Gyeongchung-daero, Bubal-eup, Icheon-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

(Received May 16, 2022: Revised June 8, 2022: Accepted June 20, 2022)

초 록: Flip Chip 제품 난이도 증가에 따라 신뢰성 관점에서 안정적인 Package (이하 PKG) 소재 기술에 대한 관심이 점차 높아지는 추세이다. 현재 flip chip PKG의 주요 신뢰성 불량은 Sn bridge와 Cu 확산이다. 위 2가지 형태 모두 본질적으로는 bump 주변 잔류한 flux residue에 의하여 발생한 미세 공극이 유발하는 불량이다. 이러한 형태의 신뢰성 불량 발생 문제점을 최소화하기 위해 Molded Under-Fill (이하 MUF) 소재의 핵심 조성과 flux 간 상관 관계를 검토하였다. 금 번 연구를 통하여 MUF 소재의 main 구성 요소인 base resin, filler와 flux에 대한 상관 관계를 정의 하였으며, 이러한 lesson learn을 토대로 flux immunity가 개선된 MUF 소재 조성을 설계할 수 있었다. 현재 해당 소재 조성으로 흡습 신뢰성 85%/85%/24hrs 확보와 파괴 분석으로 bump 주변 미세 공극의 미 발생을 확인 하였다. 본 연구 결과는 양산 단계에서의 flip chip 공정 수율 향상과 MUF와 flux 간 상용성 연구에 대한 이해를 돕는데 기여할 것으로 예상된다.

Abstract: As the difficulty of flip chip products increase, interest in stable PKG material technology from the viewpoint of reliability is increasing. Currently, the representative of poor reliability that are mainly occurring in flip chip PKG are Sn bridge and Cu dendrite. Two type defects are caused by void generated by the flux residue around the bump. In order to essentially minimize the risk of this type of reliability failure, the linkage between the composition of Molded Under-fill (MUF) and flux, which is related material, was reviewed. In this study, the correlation between base resin and filler, which is the main component of MUF, and flux, was defined, and the material composition design was carried out by refer to lesson learn. With the current material composition, it was confirmed that moisture absorption reliability 85%/85%/24hrs pass result and void did not occur during destructive analysis, and developed MUF has shown flux immunity improving result in flip Chip PKG. We think this study can be used in yield enhancement of flip chip process and give insights to study in compatibility between MUF and flux.

Keywords: Flip chip, MUF, Flux, Residue, Base resin, Filler, Delamination

1. 서 론

반도체 주요 수요처인 모바일 제품과 서버의 고속화 경향에 따라 PKG chip과 substrate와의 연결 형태가 변화하고 있다. 기존에는 gold를 미세한 wire로 길게 만들어 chip과 기판을 연결하는 방식을 채택하였으나, 현재는 Cu pillar bump를 형성하여 연결을 하는 방식으로 바뀌고 있다. Cu pillar를 사용하여 연결하는 방식은 flip chip PKG라 통칭되며, chip과 기판을 direct로 연결하여 전기 신호를 빠르게 전달할 수 있다는 장점이 있어 신규 개발되는 PKG 구조에 많이 적용되고 있다. Flip chip PKG 제조 공

정의 경우 Fig. 1과 같이 Cu 산화막을 제거하는 소재인 flux에 dipping한 후 기판 위에 attach 한다. 이후 chip이 실장된 기판을 solder ball mount (이하 SBM)과 같은 고온 reflow 환경에 체류하여 flip chip Bump가 연결되게 만드는 공정이다.

위와 같이 flip chip PKG 공정에 사용되는 flux의 경우 통상적으로 고온 reflow 진행 시 대부분 기화되어 제거되지만, bump간 간격이 좁고 flux 사용량이 많은 경우 완벽하게 제거되지 못하고 bump 주변에 잔류하게 되는 환경이 발생한다. 이와 같이 남은 flux residue의 경우 MUF 공정 이후에도 SBM과 같은 고온 체류 환경에 지속적으로

[†]Corresponding author
E-mail: kimoona@sk.com

© 2022, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

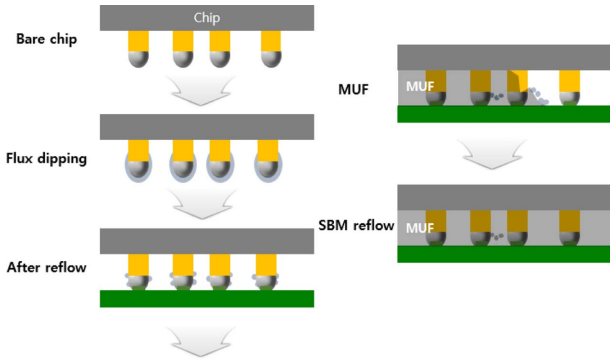


Fig. 1. Flip chip PKG production process.

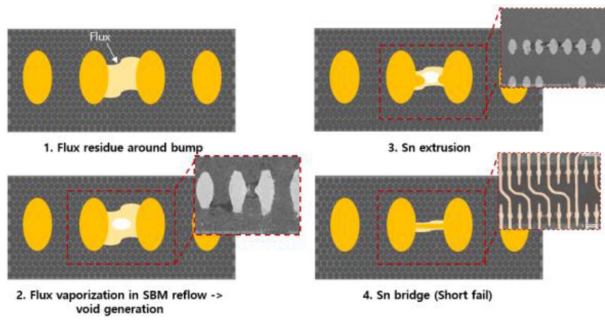


Fig. 2. Sn bridge mechanism generated by flux.

제거 되면서 미세한 공극¹⁾이 발생하게 된다. 이와 같이 발생한 미세 공극은 후속 흡습 test 환경에서 Fig. 2와 같이 Cu 확산²⁾과 Sn bridge³⁾를 유발 하여 short fail을 유발하게 된다.

위와 같은 미세 공극에 의한 신뢰성 불량 발생 risk를 최소화 하기 위하여 bump 주변에 flux residue를 없앨 수 있도록 flip chip PKG 소재의 조성에 대한 검증 및 연구를 진행하였다. 소재 조성 설계 진행 시 단순히 residue 발생량을 줄이는 것 만이 아닌 flip chip bonding (이하 FCB) or MUF 등 PKG 공정에 정상적으로 진행 될 수 있도록 소재 조성을 설계하고 흡습 환경에서의 신뢰성도 동시에 확보하여야 하기 때문에 고 난이도의 소재 기술의 확보가 필요하였다.

본 연구에서는 반도체 PKG 소재에 해당하는 MUF의 main 성분인 filler와 resin 그리고 flux residue의 상관 관계에 대한 검토를 진행하였다. 해당 결과를 기반으로 소재 조성을 설계 하였고, flip chip PKG 내 잔류 flux zero와 안정적인 작업성 및 신뢰성을 확보 할 수 있었다. 또한 검증 과정에서 확보한 구조에 대한 lesson learn을 기반으로 PKG design에 대한 변경을 제안하여 신뢰성 level을 높이는데 기여 할 수 있었다.

2. 실험 방법

2.1. Resin 상용성

Flip chip PKG 내 bump 주변 미세 공극의 경우 통상적

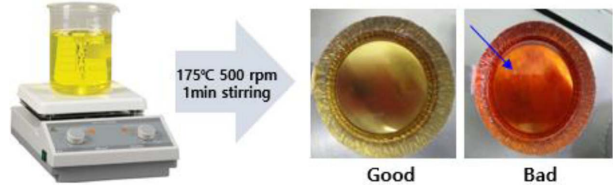


Fig. 3. Resin & flux compatibility test.

인 불량 형태와는 달리 MUF와 flux residue 이중 소재 간 상관관계에 의하여 발생하는 형태이다. 따라서 두 소재 간의 연관 관계를 규명하기 위하여 새로운 형태의 실험 방식을 설계하였다.

먼저 MUF resin과 flux간의 상관관계 및 상용성 검토를 위하여 PKG 공정과 유사하게 구성하여 열처리 및 mixing을 진행하였다. Fig. 3과 같이 FCB reflow 환경과 동일하게 일정량의 flux를 260°C 5분 열 처리하여 residue를 인위적으로 생성하였다. 이후 생성된 flux residue를 175°C 환경에서 녹여 액상으로 만든 MUF resin과 stirring을 진행하여 상용성을 검토하였다. 이 때 소재 조합에 따라 침전물이 발생하는지 여부와 이중 소재간의 분리 현상 등이 발생하는지 여부를 확인하는 방향으로 상용성 검토를 진행하였다.

이러한 resin과 flux간의 상용성 평가 결과를 기반으로 Sn bridge 또는 Cu 확산을 유발 할 수 있는 flux residue를 취약 위치인 bump 주변에서 기타 PKG molding 지역으로 이동 할 수 있도록 소재 조성 설계를 할 수 있었다.

2.2. Flux residue 평가

Bump 주변에 잔류한 flux에 의한 미세 공극의 경우 1 um 이하의 미세한 size로 단면 분석을 진행하게 되면 특이점을 관찰하기가 불가능한 수준이다. 따라서 filler size에 따른 영향성 검토 및 비교를 위하여 흡습 환경(85°C/85°C/24hr) 이후 Fig. 4와 같이 평면 파괴 분석⁴⁾을 진행하여 PKG 기관 바로 위 배치된 bump 사이 flux residue를 육안으로 관찰하는 방법을 진행하였다.

이와 같이 분석한 image를 기반으로 세부적인 소재 변경점에 따른 영향성 평가를 위해서는 크기 비교가 필요하였다. 이러한 비교 분석 진행을 위하여 동일 비율 및 빛 노출 환경에서 image를 촬영한 후 흑백 전환하여 음영 크기 비교를 진행하는 방식으로 flux residue 크기 상대 비교를 진행 할 수 있었다.

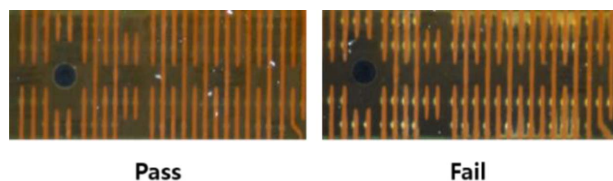


Fig. 4. Flux residue Pass/Fail image.

3. 결과 및 고찰

3.1. Resin 종류에 따른 영향성 평가

Resin의 경우 요구 조건은 MUF 고유의 특성인 PKG 신뢰성과 유동 특성을 확보하면서 flux residue와의 상용성이 낮아야 한다. MUF resin의 flux 상용성이 낮아야 하는 사유는 Fig. 5에서 볼 수 있는 것 처럼 FCB 공정 후 bump 주변에 잔류한 flux를 mold 압력과 함께 MUF resin이 잘 밀어내서 상대적으로 risk가 없는 vent hole 및 기타 PKG molding 지역으로 이동을 시켜야 하기 때문이다.

이를 위하여 flip chip PKG 공정과 유사하게 flux를 260°C 5분 고온에서 전 처리한 후 MUF Resin 4종과 mixing 및 stirring 공정을 진행하여 상용성 평가를 진행하였다. 그 결과 Fig. 6에서 볼 수 있는 것처럼 resin type에 따라 침전물 생성 정도와 이종 소재 (MUF resin & flux) 간 계면 발생 수준의 유의차가 확인되었다.

전체적으로 보면 resin type 1 → 4로 변경됨에 따라 이종 소재 간 계면이 선명하게 형성되는 것이 확인되었다. 또한 상대적으로 resin 1의 경우 flux와 잘 섞이고 계면이 없는 상태였으나, 4의 경우 침전물이 생기며 이종 소재 간 혼합도가 상대적으로 떨어지는 형태를 나타내었다. 즉, MUF resin type 1 → 4로 갈수록 flux와의 상용성이 낮아지는 현상이 나타났다.

이러한 resin type별 상용성 유의차 원인 분석을 위하여 resin의 고유 물성 table 비교 분석 진행 시 molecular weight (이하 M.W)가 높은 resin에서 flux와의 상용성이 낮게 형

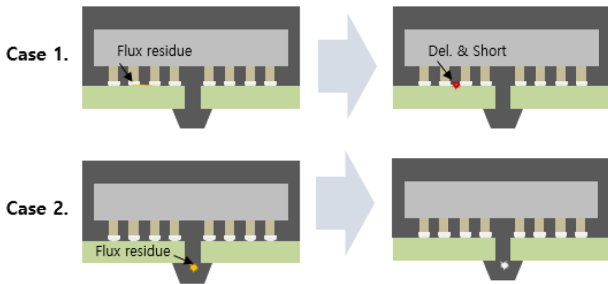


Fig. 5. Risk point according to residue location.

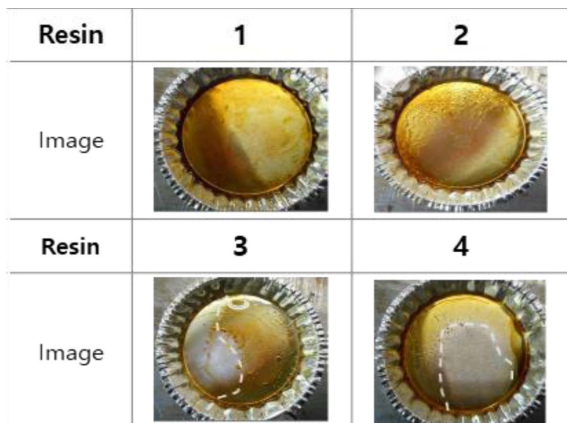


Fig. 6. Resin & flux compatibility test result.

Resin	Softening Point (°C)	Viscosity (poise)	M.W (g/mol)
1	107	0.02	266
2	53.5	1	904
3	57	0.08	1176
4	61.5	2.8	1684

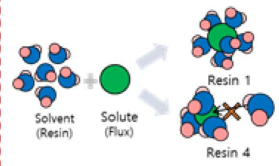


Fig. 7. Resin property data sheet.

성되는 것을 확인하였다. 이를 분자 구조적 측면에서 연계하여 해석해보면 Fig. 7에서 처럼 상대적으로 M.W가 크고 구조가 복잡한 resin이 flux와 만나게 될 경우 입체 장애 효과 (steric effect)에 의하여 상호간에 반응하기가 어려워 침전물 발생 또는 상용성 저하를 유발 하는 것으로 판단된다.

이러한 base resin 선정에 앞서 flux와의 상관관계 특성 검토를 진행하였다. 검토 진행 결과 resin의 M.W에 따라 flux와의 상용성 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 그리고 bump 주변의 flux residue가 잔류하여 미세 공극 또는 Sn bridge와 같은 risk⁵⁾ 발생하는 것을 방지하기 위해서 상대적으로 M.W가 높은 resin 조성을 선정하여 조성을 설계하는 것이 유리함을 확인 할 수 있었다.

3.2. Filler size에 따른 영향성 평가

MUF의 80~90wt%를 구성하는 filler의 경우 Fig. 8에서 확인할 수 있는 것처럼 크게 2개의 크기로 구성 되어있다. 소재의 골격에 해당하는 main filler의 경우 약 15~20 um 내외의 size로 구성되어 있으며, MUF에 요구되는 chip 하부 gap fill 특성 또는 소재 고유의 modulus & strength 값과 밀접한 연계성을 가지고 있다. Sub. micro filler의 경우 2 um 이하에서 수백 nm size의 particle로 구성되어 있으며, main filler 사이에서 bearing effect를 통하여 mold 유동 특성을 확보하거나 금형 vent area에서 주로 발생하는 resin bleed와 같은 공정 문제를 방지하는 역할을 하는데 주로 사용된다.

Filler에 대한 영향성 평가 진행을 위하여 resin 외 촉매, wax와 같은 기타 MUF 구성 성분을 동일하게 구성한

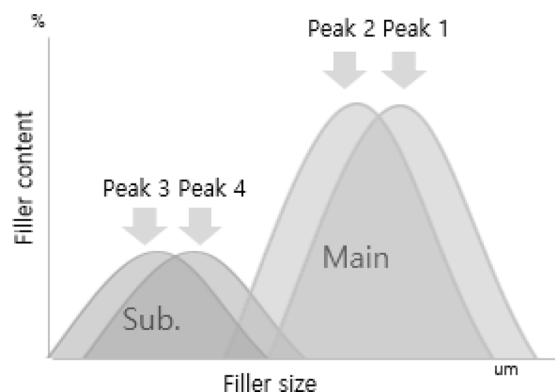


Fig. 8. MUF filler distribution data.

조성 base에서 filler size를 main, Sub. Micro 각각 2개 수준으로 구성하여 Fig. 9와 같이 검증 소재를 총 4개를 준비하였다. 동일한 chip과 공정을 진행하여 flux residue 발생을 비교 검증을 진행하였다.

검토 결과 1 um 이하 nano particle이 적용 되지 않은 1,2번 조성 대비하여 3,4번 조성에서의 flux residue 발생률이 55% 이상 급격하게 감소하는 효과가 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 main filler에 size 변화에 따른 영향성은 1,2번 조성에서는 일부 확인이 되었으나, 1 um 이하 nano particle이 적용된 3,4번 조성에서는 크게 영향성이 없는 것이 확인이 되었다.

이러한 filler 조성에 따른 flux residue 발생량의 급격한 유의차가 발생하는 원인을 세부 분석 진행한 결과는 다음과 같다. bump 주변의 flux residue의 대부분은 vent hole을 통하여 PKG 신뢰성에 크게 영향을 주지 않는 window area로 이동하게 된다. 하지만 Fig. 10에서 볼 수 있는 것처럼 solder resist (이하 SR) under cut과 같이 미세한 틈으로 flux가 이동하게 되면 SBM 공정과 같은 후속 열이력에 의하여 미세 void가 발생하게 된다. 이때에 조성 3,4에서 적용된 1 um 이하 nano particle들이 미세한 PKG 하부구조까지 채워주면서 flux residue가 묻쳐 잔류하는 것을 방지해주기 때문에 유의차가 나타나는 것이 확인되었다. 즉, 수백 nm scale의 particle들이 flux가 잔류할 수 있는 PKG 내 미세 공간까지 채워주어 미세 공극을 저감하는 역할을 하는 것이다.

Resin 상용성 검토와 마찬가지로 flux residue와 연계하여 filler size 및 조성에 따른 PKG 신뢰성 및 특성 검토를 진행하였다. 미세한 nano size의 particle로 구성된 filler를

적용 시 PKG 내에 미세한 틈을 따라 flux가 잔류하는 것을 방지가 가능함을 확인하였다. 또한 PKG 구조 측면에서는 SR under cut과 같이 bump 주변에 MUF gap fill이 되기 어려운 구조물이 있을 경우 flux residue가 trap될 수 있음을 확인하였다. 따라서 향후 substrate 제작을 포함한 PKG 설계 시부터 mold flow 및 gap fill에 용이한 형태로 제작하여야 신뢰성이 확보된 PKG 제작이 가능할 것이다.

4. 결 론

MUF의 주요 구성 성분인 resin과 filler의 조성에 따른 flux residue의 영향성에 대한 검토를 진행하였다. Resin의 경우 M.W가 높은 base resin을 적용하여야 flux residue를 신뢰성 취약 area인 bump 주변에서 안정적인 위치인 PKG window쪽으로 이동시켜 전체적인 신뢰성 확보가 용이함을 확인하였다. Filler의 경우 1 um 이하 nano particle이 적용되었을 때, PKG 내부 narrow한 area까지 채워주면서 flux가 잔류하는 것을 방지하여 신뢰성 확보에 용이함을 define 하였다. 이러한 2가지 MUF 조성에 대한 lesson learn을 반영하여 소재를 개발 및 tuning을 진행하였으며, PKG 제작하여 평가 진행 시 flux residue zero 수준과 MUF에서 요구되는 기존 신뢰성 level을 확보하였다. 본 과제를 통하여 PKG 환경에 적합한 flux immunity 확보 MUF 기술을 확보하여 고 난이도 flip chip 구조에 접목할 수 있는 소재 기술을 확보하였으며, 이를 기반으로 양산 적용 시 PKG 기술 완성도 향상에 기여 할 수 있을 것으로 판단된다.

Filler composition		1	2	3	4
Main	Peak 1	-	70%	63%	-
	Peak 2	70%	-	-	63%
Sub	Peak 3	30%	30%	30%	30%
	Peak 4	-	-	7%	7%
Flux residue		80%	95%	25%	25%

Fig. 9. MUF filler size별 조성.

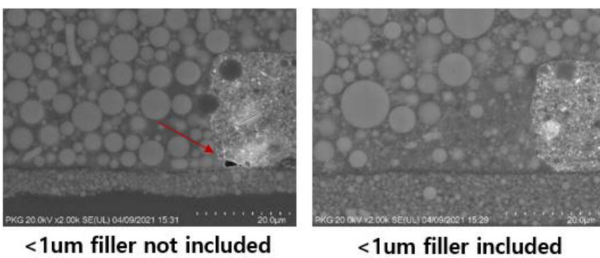


Fig. 10. Flux residue inspection image

References

1. M. K. Choi, C. Y. Lee, J. P. Jung, C. J. Shur, Y. E. Shin, "A Study on Wettability and Defects Behavior of Flow-soldered Joint Using Low Residue Flux", Journal of Welding and Joining, 16(6), 77-85 (1998).
2. J. H. Bang, C. W. Lee, "Flux Residue Effect on the Electrochemical Migration of Sn-3.0Ag-0.5Cu", Journal of Welding and Joining, 29(5), 95-98 (2011).
3. K. S. Kim, "Mitigation Methods of Sn Whisker Growth on Pure Sn Plating", Journal of Welding and Joining, 31(3), 17-21, (2013).
4. C. Bendingfield, L. M. Higgins, "The Effects of Flux Materials on the Moisture Sensitivity and Reliability of Flip-Chip-on-Board Assemblies", IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology Part C, 21(3), 189-195, (1998).
5. K. S. Kim, Y. M. Leem, C. H. Yu, "Structure and Growth of Tin Whisker on Leadframe with Lead-free Solder Finish", J. Microelectron. Packag. Soc. 11(3), 1-7(2004).