

Stacked Chip Package를 위한 Sn-Sn 기계적 접합의 미세구조와 접착강도

김주연 · 김시중 · 김연환* · 배규식
수원대학교 전자재료공학과, * 칩트론 기술연구소

Microstructure and Adhesion Strength of Sn-Sn Mechanical Joints for Stacked Chip Package

Ju-Youn Kim, Si-Jung Kim, Youn-Hwan Kim*, and Kyoo-Sik Bae

Department of Electronic Materials Engineering, The University of Suwon

*R & D Center, Chiptron Inc.

(2000년 2월 10일 접수, 2000년 2월 24일 게재승인)

초 록: Workstation이나 PC sever용 메모리칩의 고밀도 실장을 위한 stack chips package (SCP)를 만들기 위해서는 여러 개의 리드프레임이 수직으로 접합되어야 한다. 이를 위하여 Cu 리드프레임 위에 전기화학증착법으로 Sn 또는 Sn/Ag를 도금한 후 XRD와 SEM으로 미세구조를 분석하였다. 그리고 두 개의 시편을 250°C에서 10분간 열처리하고 가압하여 접합한 후 전단강도를 측정하여 비교하였다. Sn만이 도금된 경우, Sn과 Cu리드프레임이 반응하여 Cu_3Sn 이 생성되었고, Sn/Ag의 경우에는 Cu_3Sn 외에 Sn과 Ag가 반응하여 Ag_3Sn 이 형성되었다. 전단강도는 Sn/Ag의 경우가 Sn만이 도금되었을 때보다 약 1.2배 정도 강하였다. 이는 접합면에 형성된 Ag_3Sn 이 전단강도를 강화시켰기 때문이다.

Abstract: To make stacked chip packages for high-density packaging of memory chips used in workstations or PC servers, several lead-frames are to be connected vertically. For this purpose, Sn or Sn/Ag were electrochemically deposited on Cu lead-frames and their microstructures were examined by XRD and SEM. Then, two specimens were annealed at 250°C for 10 min. and pressed to be joined. The shear stresses of joined lead-frames were measured for comparison. In the case of Sn only, Cu_3Sn was formed by the reaction of Sn and Cu lead-frames. In the case of Sn/Ag, besides Cu_3Sn , Ag_3Sn was formed by the reaction of Sn and Ag. Compared to joined specimens made from Sn only, those made from Sn/Ag showed 1.2 times higher shear stress. This was attributed to the Ag_3Sn phase formed at the joined interface.

1. 서 론

최근 반도체 제조 기술의 급속한 발전으로 대용량화, 고밀도화 및 소형화가 실현됨에 따라, 패키지도 이에 부응하는 소형화가 요구된다. 이에 따라 QFP와 같은 주변단자 패키지로 부터 BGA, CSP와 같이 area단자형 패키지로 바뀌어 가고 있는 추세이다.¹⁾ 이와는 달리 고밀도 실장을 실현하는 방법으로 칩이나 개별 패키지를 수직방향으로 적층(stack) 접합하는 방안이 시도되

고 있다.²⁾ 이 기술은 패키지의 크기와 무게를 줄일 수 있음은 물론, interconnection 길이와 기생 커패시턴스를 최소화하여 동작속도를 증가시키고 잡음을 줄일 수 있는 장점이 있다. 두 개의 IC칩을 적층접합하는 대표적인 예를 Fig. 1에 보였다.³⁾ 이 경우, 위와 아래 리드프레임의 리드는 전기적으로 연결이 되고 외부충격에 견딜 수 있도록 강하게 접합(joining)되어야 한다.

적층접합은 주로 Ag계 도전성고분자 접착제나 금속 솔더를 사용하여 만들어진다. 그러나 고분자 접착제는

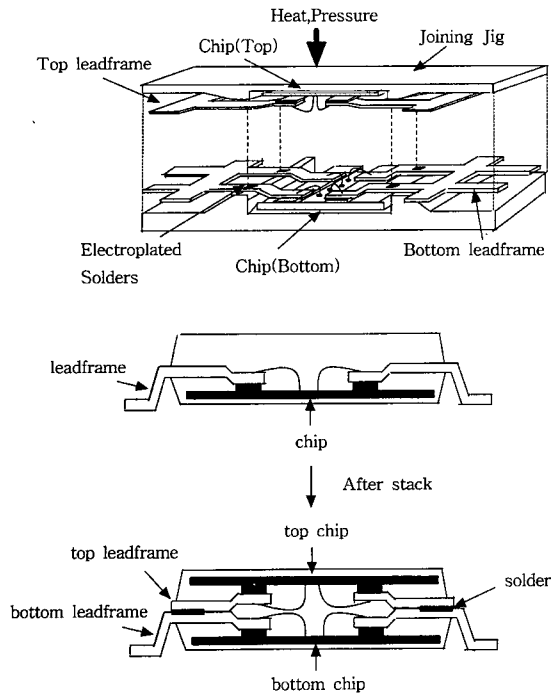


Fig. 1. Schematic diagram of representative stack chip package³⁾

값이 비싸고 전기적 전도도가 낮아 솔더에 비해 효율도가 낮다. 반도체 실장에서 가장 널리 사용되는 솔더는 Sn-Pb, 특히 공정조성인 Sn-37Pb이다. 그러나 Sn-Pb합금의 Pb성분에 의한 환경오염과 인체건강에 대한 우려 때문에 유럽과 미국 등 선진국에서는 납의 사용을 제한하거나 금지하려는 법적 조치가 확산되고 있다. 또한 납으로부터 방출되는 알파 입자는 반도체 소자의 성능을 저하시킨다. 이에 따라 Sn-Pb합금을 대체할 무연납 납으로 Sn-Ag, Sn-Bi, Sn-Sb계 합금 개발이 90년대 초부터 활발히 진행되어 왔다.^{4,5)} 그러나 Sn을 주성분으로 한 솔더는 용융점이 낮아 molding같은 후속공정이거나, 반도체소자가 사용되는 환경이 자동차 후드안과 같이 고온일 때는 열적으로 불안정하여 사용될 수 없다. 따라서 고온환경에도 견딜 수 있는 새로운 접합방법으로 등온응고화(isothermal solidification)를 통해 금속간 화합물을 형성하는 방안이 제시되었다.⁷⁾ 이 경우 접합은 200~300°C의 저온에서 만들어지나, 형성된 금속간 화합물 때문에 형성온도 보다 약 200°C이상에서도 사용될 수 있다.

본 연구에서는 Cu리드프레임 위에 Sn 또는 Sn/Ag를 전기도금한 후 250°C에서 기압접합하고 접합부의 미세구조와 접착강도를 측정하여 등온응고화에 의한 접합

Table 1. Chemical composition of Cu lead frame

	Mg	Si	Ni	Cu
Cu	0.05	0.25	2.20	Bal.

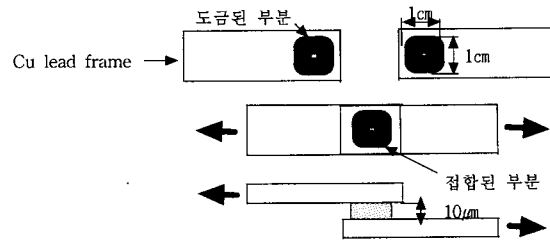


Fig. 2. Schematic diagram of lap shear specimen.

의 특성을 비교하였다.

2. 실험 방법

적층접합을 위한 기관으로는 히타치사의 Cu합금 리드프레임(두께 0.05 mm)을 사용하였으며 그 합금조성은 Table. 1에 나타내었다.

전기도금을 하기 전 Cu 리드프레임의 표면을 10% H₂SO₄ 용액에 넣어 5초간 에칭하여 자연산화막을 제거한 후 알코올과 증류수로 세척하였다. 세척된 시편 위에 60°C에서 30 mA/cm²의 전류밀도로 5 µm 두께의 Sn을, 그리고 30°C에서 20 mA/cm²의 전류밀도로 5 µm 두께의 Ag를 도금하여 Sn 5 µm 또는 Sn/Ag 5/5 µm의 시편을 만들었다. 도금의 두께와 균일성은 SEM으로 측정하였고 미세구조 및 금속간 화합물의 형성은 입사각을 2°로 고정한 XRD로 관찰하였다. Sn 또는 Sn/Ag가 증착된 시편 두개를 Fig. 2와 같이 겹친 후 250°C에서 10분간 1 ton의 힘을 가하여 접합하였다. 접합시 용제(flux)는 사용하지 않았다. 접합된 시편은 인장시험기로 전단시험을 하여 접착강도를 측정하였다. 전단시험 후 분리된 시편의 파단면은 표면 SEM과 EDX로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 리드프레임 위에 Sn 또는 Sn/Ag가 도금된 표면 SEM 사진이다. Sn만을 도금한 경우(Fig. 3(a)), 작은 입자의 형태로 증착되었고 두께가 불균일하여 막질이 불량하였다. 이러한 현상은 Cu의 산화막으로 인해 Sn이 잘 젖지(wetting)않기 때문이다.⁷⁾ 반면에 Ag는 시편 전체에 균일하게 도금되었으며(Fig. 3(b)), 그 위에

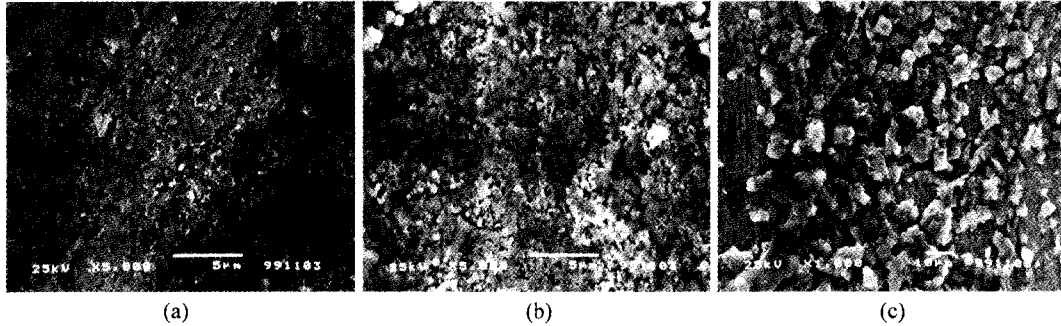


Fig. 3. Surficial SEM of electroplated lead frames. (a) Sn, (b) Ag, and (c) Ag/Sn.

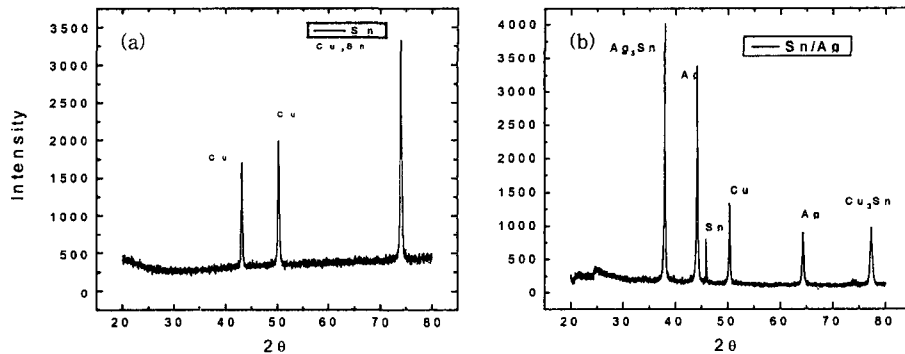


Fig. 4. XRD patterns of Sn, Ag/Sn electroplated lead frame (a) Sn, (b) Ag/Sn.

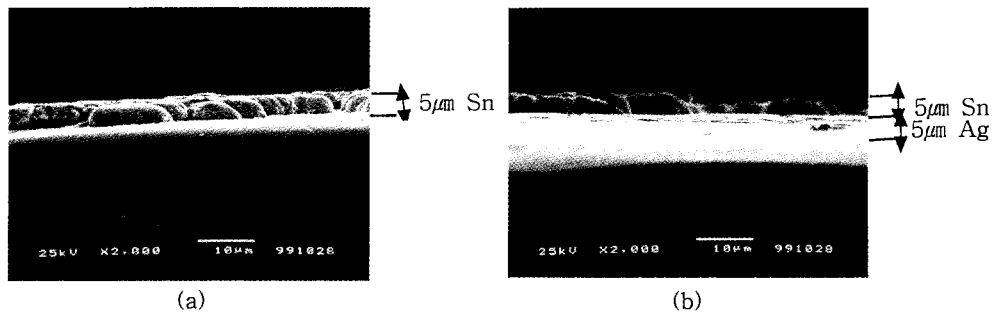


Fig. 5. Crosssection SEM of Sn, Sn/Ag electroplated lead frame (a) Sn, (b) Sn/Ag.

도금된 Sn은 입자가 크고 균일하게 증착되었음을 알 수 있다(Fig. 3(c)). 한편 Fig. 3(c)는 도금된 입자가 Fig. 3(a), (b)에 비해 상당히 커 고배율의 표면 SEM이 불가능하여 Fig. 3(a), (b)에 비해 저배율에서 표면 SEM 관찰을 하였다.

Fig. 4의 XRD결과를 볼 때 Sn만이 도금된 경우(Fig. 4(a))에서 Cu_3Sn 피크가 매우 강하게 나타나는 것으로 보아 Cu와 Sn 사이에서 Cu_3Sn 가 생성되어졌음을 알 수 있고 Sn/Ag가 도금된 경우(Fig. 4(b))는 Ag_3Sn 피크가 가장 크고 Cu_3Sn 피크도 많이 보이는 것으로 보아 Ag

와 Sn 사이에서 생성된 Ag_3Sn 과 Cu와 Sn 사이에서 생성된 Cu_3Sn 이 주류를 이루고 있으며 이것은 Ag-Cu 상평형도를 보면 상호고용도가 제한이 없어 Cu가 Ag층을 통과하여 Sn 층으로 확산하였을 것으로 생각된다 ($D=0.029\exp(-164.1/RT)$). 그러나, Ag가 도금되지 않은 미세한 부분에서 Cu와 Sn이 접촉하여 Cu_3Sn 이 생성되는 것도 배제할 수 없다. Fig. 5는 단면 SEM으로 도금이 되어진 모습과 도금된 두께를 알 수 있다. Fig. 5(a)는 Sn만이 도금된 경우로 5 µm가 도금된 것을 보여주고 Fig. 5(b)는 먼저 Ag를 도금한 뒤 Sn을 도금한 경우

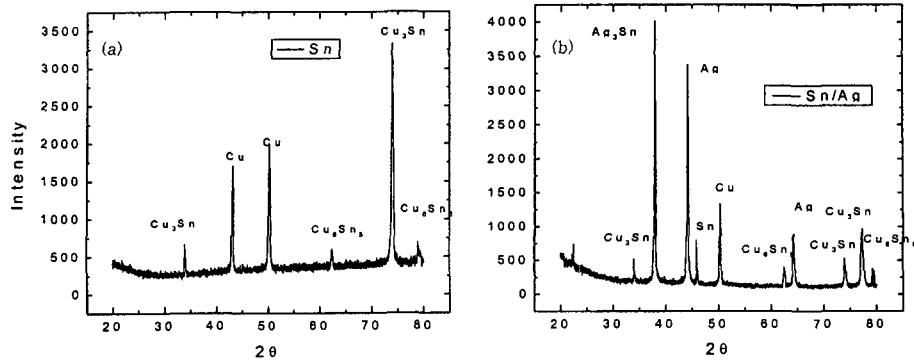


Fig. 6. XRD patterns of Sn, Ag/Sn electroplated onto a lead frame at 250°C, 10 min in anneal (a) Sn, (b) Ag/Sn.

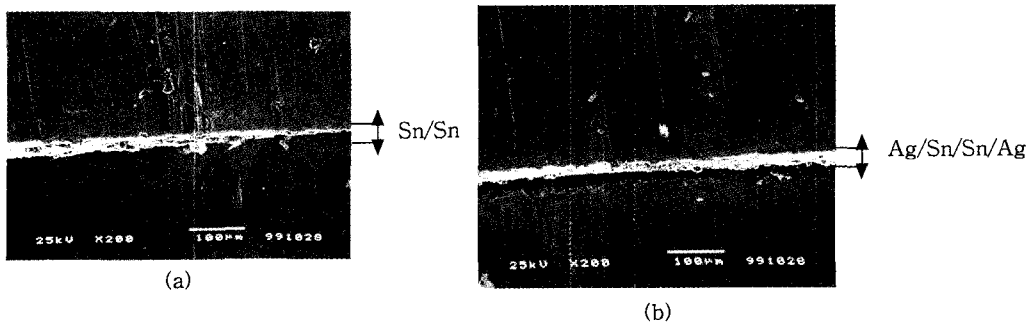


Fig. 7. Crosssection SEM of Sn, Ag/Sn electroplated lead frame joint (a) Sn, (b) Sn/Ag.

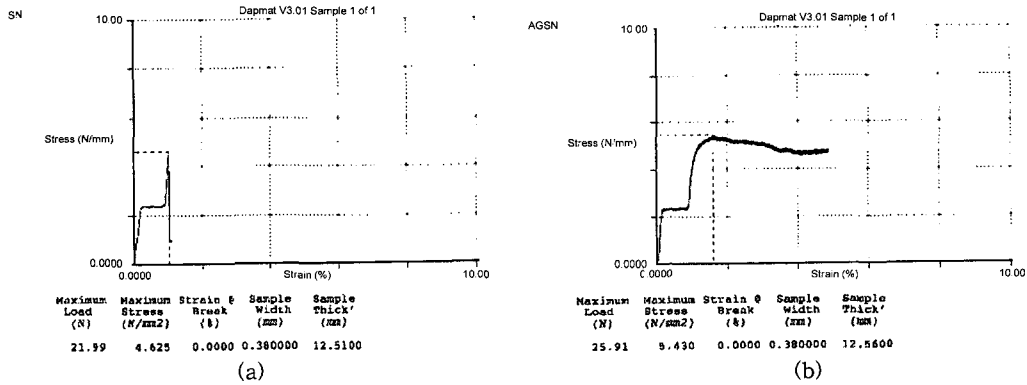


Fig. 8. Tensile shear test result of Sn, Sn/Ag electroplated lead frame joint pressured at 250°C, 1 ton and atmosphere (a) Sn, (b) Sn/Ag.

로 5/5 μm가 도금된 것을 알 수 있다. Fig. 6(a), (b)에서 Sn만 도금한 시편과 Ag를 도금한 뒤 Sn을 도금한 시편을 250°C에서 10분 동안 열처리한 시편의 XRD로 두 시편 모두 열처리를 한 후에 Cu₃Sn가 생성된 것을 알 수 있고 Sn과 Sn/Ag가 적층된 시편 두 개를 용제를 사용하지 않고 겹친 후 250°C에서 10분간 1 ton의 힘을 가하여 리드 프레임의 모습을 Fig. 7(a), (b)에서 보이고 있다.

Fig. 8은 Fig. 7에서 보이는 접합된 리드프레임을 인장시험기를 통한 Typical stress-strain curve로 각 시편에 대해 5번 측정된 결과로 평균값은 Sn이 증착된 리드 프레임의 maximum stress가 4.625(N/mm²)이고 Sn/Ag가 증착된 리드프레임은 maximum stress가 5.430(N/mm²)으로 대략 Sn/Ag가 Sn보다 1.21배정도 strength가 크다. Fig. 8(a)를 보면 결합부분에 결합력이 약하여 간

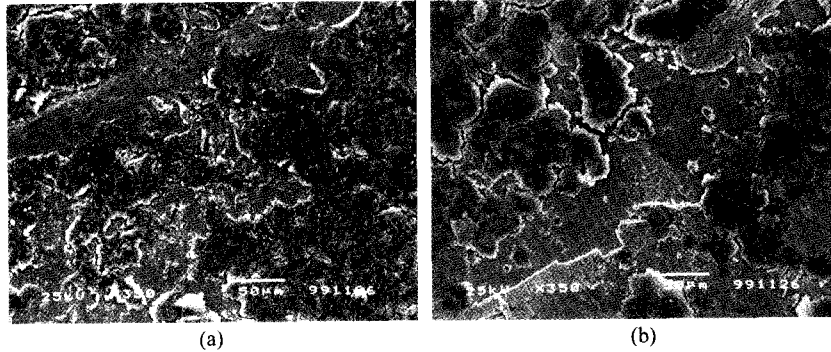


Fig. 9. Surfacial SEM microstructures taken from the mechanically separated surface of Sn, Sn/Ag electroplated lead frame (a) Sn, (b) Sn/Ag.

Table 2. EDX results of Fig. 8

Point	Composition (at.%)		
	Cu	Sn	Ag
1	99.12	0.88	
2	84.05	15.95	
3	67.75		32.25
4	75.08	11.44	13.48

단하게 파열되었음을 알 수 있고 Fig. 8(b)는 결합력이 강하여 쉽게 파열되지 않고 길게 늘어짐을 알 수 있다. Sn/Ag가 도금된 경우에 Ag와 Sn사이에서 생성된 Ag_3Sn 과 Sn과 Cu사이에서 생성된 Cu_3Sn 에 의해 단지 Sn만을 도금한 경우에 Sn과 Cu사이에서 Cu_3Sn 만이 생성된 경우보다 결합 강도에 영향을 미쳐 Sn/Ag가 도금된 경우가 더 큰 강도를 가지게 되었다. Fig. 9는 파단면의 표면 SEM이다. 두 경우 모두 계면에 가까운 도금면에서 일어났으나, Sn만이 도금된 시편(Fig. 9(a))보다 Sn/Ag가 도금된 시편(Fig. 9(b))의 파열면이 더 거친 것을 알 수 있다. 접합부의 전단강도는 도금의 미세구조와 계면생성물의 특성에 의존한다. Sn/Ag가 도금된 경우 기지상내에 형성된 Ag_3Sn , Cu_3Sn 과 Cu_6Sn_5 가 전단강도 증가에 기여하였으나, Sn만이 도금된 경우에 형성된 Cu_3Sn 과 Cu_6Sn_5 는 인성을 저하시키거나 전단강도에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 보인다. Table. 2는 파열면을 EDX로 분석한 것으로 Sn/Ag가 도금된 경우에 Sn과 Ag 사이에서 파열이 일어난 경우가 많은 것을 알 수 있다.

4. 결 론

Sn, Sn/Ag가 도금된 리드프레임간의 전단강도를 비

교하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Sn만이 도금된 Cu 리드프레임에서는 Sn과 Cu가 반응하여 Cu_3Sn 이 250°C에서 10분간 열처리를 한 후엔 Cu_6Sn_5 가 생성되었다.

2) Sn/Ag가 도금된 경우엔 Sn과 Ag가 반응하여 Ag_3Sn 이 형성되었고 Sn과 Cu가 반응하여 Cu_3Sn 이 250°C에서 10분간 열처리를 한 후엔 Cu_6Sn_5 가 생성되었다.

3) Cu 산화막의 영향으로 Sn만이 도금된 경우보다 먼저 Ag를 도금한 후 도금한 Sn이 더 균일하게 도금이 되어졌다.

4) Sn, Sn/Ag가 도금된 경우의 strength는 각각 maximum stress가 4.635(N/mm²), 5.430(N/mm²)으로 Sn/Ag가 도금된 경우가 Sn만이 도금된 경우보다 약 1.2 배정도가 strength가 큰 것을 알 수 있었다.

5) Sn/Ag가 도금된 경우에 Sn과 Ag가 반응하여 생성된 Ag_3Sn 이 전단 강도에 영향을 미쳐 Sn만이 도금된 경우보다 전단 강도가 크고 쉽게 끊어지지 않고 길게 늘어지는 것을 알 수 있었다.

위의 결과로 미루어 Sn만을 도금하여 사용하는 경우보다 Ag를 도금한 뒤 Sn을 도금하여 사용하는 것이 IC 칩을 적층접합하는데 더 우수하다고 판단된다.

참고문헌

1. "반도체 패키지의 기술동향," 반도체 산업, 54 (Feb. 1998).
2. S. F. Al-Sarawi, D. Abbott, and P. D. Franzon, "A Review of 3-D Packaging Technology), IEEE-CPMT(B), 21(1), 2 (1998).
3. S.J. Cho, S.W. Park, M.G. Park, and D.H. Kim, "A Novel Low-Cost and Robust Stack Chips Package and its Thermal Performance," in press, IEEE Trans. on

- CPMT : Part B, May 2000.
4. 서윤중, 이경구, 이도재, "Sn-Bi-X계 뿔납과 Cu 기판과의 계면반응 및 기계적 특성에 관한 연구," 한국재료학회지, 8(9), 807 (1998).
 5. 김시중, 배규식, "Sn-3.5Ag/Alloy42 리드프레임 뿔납 접합의 미세조직과 접합특성에 관한 연구," 한국재료학회지, 9(9), 926 (1999).
 6. F. Bartels, J. W. Morris, Jr, G. Dalke, and W. Gust, "Intermetallic Phase Formation in thin Solid-Liquid Diffusion Couples," J. Electron. Mater., 23(8), 787 (1994).