Research Paper
Korean J. Met. Mater. Vol. 50, No. 12, pp. 913-920
DOI: 10.3365/KJMM.2012.50.12.913

표면 요철이 발달된 캐필러리 적용에 따른 Cu 와이어의 본딩 특성

이종현[1] · 김주형[1] · 강홍전[1] · 김학범[2] · 문정탁[3] · 류도형[1,*]

[1]서울과학기술대학교 신소재공학과
[2]한국정밀
[3]엠케이전자

Enhancement of Cu Wire Bondability by Increasing the Surface Roughness of Capillary

Jong-Hyun Lee[1], Ju-Hyung Kim[1], Hong-Jeon Kang[1], Hak-Bum Kim[2], Jung-Tak Moon[3], and Doh-Hyung Riu[1,*]

[1]Department of Materials Science & Engineering, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 139-743, Korea
[2]Material Department, PECO, Seoul 135-090, Korea
[3]MK Electron Co. Ltd, Gyeonggi-do 449-812, Korea

Abstract: In spite of some problems in processability and bondability, Au wires in the microelectronics industry are gradually being replaced by copper wires to reduce the cost of raw material. In this article, the effects of surface roughness enhanced capillaries on thermosonic Cu wire bonding were evaluated. The roughness-enhanced zirconia toughened alumina (ZTA) capillaries were fabricated via a thermal grooving technique. As a result, the shear bond strength of first bonds (ball bonds) bonded using the roughness-enhanced capillary was enhanced by 15% as compared with that of normal bonds due to more effective plastic deformation and flow of a Cu ball. In the pull-out test of second bonds (stitch bonds), processed at two limit conditions on combinations of process parameters, the bond strength of bonds formed using the roughness-enhanced capillary also resulted in values higher by 55.5% than that of normal bonds because of the increase in the bonding area, indicating the expansion of a processing window for Cu wire bonding. These results suggest that the adoption of roughness-enhanced capillaries is a promising approach for enhancing processability and bondability in Cu wire bonding.

(Received May 2, 2012)

Keywords: Cu wire, metals, bonding, strength, scanning electron microscopy (SEM)

1. 서 론

전자 패키징(electronic packaging) 분야의 대표적 interconnection 공정으로 사용되어온 와이어 본딩(wire bonding)은 장비, 공정 및 재료 기술의 지속적인 개선으로 현재까지도 각광받는 interconnection 기술이다[1-5]. 그러나 최근 Au 재료에 대한 가파른 원가 상승은 Cu와 같은 저가격 대체 소재를 사용하는 와이어 본딩 기술로의 급격한 전환을 유도하고 있다[2,3,6-15]. 따라서 Cu 와이어 본딩 기술과 관련된 장비, 공정, 그리고 재료에 대한 최적화 연구가 광범위하게 요구된다[3,6,14,15-19].

Cu 와이어는 Au 와이어 비해 내산화성이 취약하고 경도가 크기 때문에 공정상의 제약이 큰 관계로 장비 및 공정 측면에서 새로운 아이디어의 도입이 필요하다[12,14,17-20]. 우선 장비 측면에서는 본딩 중 불활성 또는 환원성 가스 분위기의 적용이 필수적으로 요구되는데, 이를 위해서 새로운 전용 장비가 개발되거나, 기존 장비에 질소 또는 N_2-5% H_2 조성의 포밍(forming) 가스 공급 모듈을 장착하는 방식이 사용되고 있다[10,11,13,15,17]. 이에 더하여 기본적으로 경도가 높으면서도 미세하나마 표면이 산화된 Cu 와이어를 가지고 안정적인 열-초음파(thermo-sonic) 본딩 공

*Corresponding author : dhriu15@seoultech.ac.kr
Copyright ⓒ 2012 The Korean Institute of Metals and Materials

Table 1. Summary of bonding parameters used during Cu wire bonding

Parameter	First bonding	Second bonding		
		Lower limit condition	Middle condition	Upper limit condition
Bond power (mA)	140	120	143	160
Bond force (g_f)	30	10	30	40
Contact time (ms)	15	15	15	15

정을 가져가기 위해서는 장비 및 공정 측면에서의 추가적인 아이디어 접목이 요구되고 있다.

회로의 고집적화로 인한 ultra-fine pitch(UFP)가 요구되면서 와이어가 0.7 mil(약 18 미크론)까지 작아짐에 따라 이를 본딩하는 툴(tool)인 캐필러리 팁(capillary tip)의 외경도 50 미크론까지 작아지게 되었다. 이로 인해 본딩 시 캐필러리 표면과 와이어 표면간의 접촉 면적이 작아지게 되어 슬립 발생에 의한 본딩된 와이어의 접착력이 떨어지게 되는데, 이는 이후의 몰딩(molding) 공정 등에서 와이어의 단락이나 합선을 유발시킬 수 있다. 특히 Au 와이어보다 경도가 높은 Cu 와이어에서는 본딩 슬립 현상에 의해 많은 본딩 불량을 야기시키는 것으로 보고되고 있다[18].

본 연구에서는 표면 요철이 크게 확대된 캐필러리를 사용한 Cu 와이어 본딩의 공정 특성에 대해 논의하고자 한다. 표면 거칠기의 영향을 살피기 위해서 다이아몬드로 표면이 정밀하게 연마된 상용 캐필러리를 기준 샘플로 삼았으며, 이후 캐필러리 표면의 거칠기를 제어하기 위하여 알루미나-지르코니아계 세라믹 캐필러리의 팁 표면에 Cr_2O_3를 확산 열처리하여 표면의 거칠기가 다른 총 5종의 캐필러리를 제조하였다[21]. 향상된 표면 요철도는 경도값이 큰 Cu 와이어를 열-초음파 본딩 과정에서 소성 변형시키는데 매우 효과적일 것으로 기대된다. 따라서 표면 요철이 향상된 캐필러리를 사용하여 캐필러리의 표면 요철 정도에 따른 Cu 와이어의 본딩 특성 변화를 분석하고, 그에 따라 예상되는 공정 범위의 변화를 조사해 보았다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용한 세라믹 캐필러리는 (주)PECO로부터 제공받은 Al_2O_3-Zr_2O_3계의 zirconia toughened alumina(ZTA) 세라믹스였다[22]. 제공받은 상용 캐필러리 제품의 팁은 다이아몬드로 연마 가공된 상태였으며, 본 연구에서 기준 캐필라리로 사용되었다. 기준 캐필라리의 형상 및 표면 거칠기는 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM) 및 원자힘현미경(atomic force microscope, AFM)으로 관찰하였다. 한편, 캐필러리에 표면 거칠기를 도입하기 위하여 표면 연마된 캐필러리 제품을 1500℃의 공기 중에서 30분간 열처리하였고, 이 고온 열처리를 거친 캐필러리 팁의 거칠기를 원자힘현미경으로 다시 측정하였다. 고온 열처리 동안 캐필라리는 순수한 Al_2O_3 분위기의 분말에서부터 Al_2O_3 분말에 Cr_2O_3 분말을 혼합한 분위기 분말과 함께 열처리하였는데, Cr_2O_3 분말의 함량(10%, 50%, 100%)이 증가할수록 표면 거칠기가 증가하는 거동이 관찰된다. 즉, 열처리동안 분말 내에 포함된 Cr_2O_3의 함량이 증가할수록 Cr_2O_3로부터 휘발하는 Cr계의 증기 양이 증가하게 되는데, 이 증기가 캐필러리의 표면 부위에 증착, 확산하게 되면 표면 입계 조직의 열(thermal) grooving 현상을 촉진시키게 되며, 결과적으로 캐필러리의 표면 거칠기를 증가시키게 된다. 사용된 Cu 와이어는 엠케이전자의 LV 타입이였다. 이 Cu 와이어는 결정립의 미세화 구현으로 조직 및 물성의 균질화가 우수하며, 본딩 공정 시 패드(pad) 데미지 감소 및 bondability가 개선되는 특징을 가진다[23]. 사용된 캐필러리는 1.0 mil 와이어용이었으며, 기준품과 표면 요철 정도가 다른 4종의 캐필러리를 함께 사용하여 그 공정성을 상호 비교하며 평가해 보았다.

사용된 와이어 본더는 ASM사의 eagle 모델이었다. 와이어 본딩의 대표 공정 변수(bonding parameter)로는 파워(bond power), 가압력(bond force), 접촉 시간(contact time), 온도 등을 들 수 있는데[3,15], 본 실험에서 실시된 1차 본딩(first bonding 또는 ball bonding) 및 2차 본딩(second bonding 또는 stitch bonding)시의 공정 변수값은 표 1과 같았다. 캐필러리의 요철 효과가 상대적으로 미미하게 작용할 것으로 예상되는 1차 본딩의 경우 공정 변수들을 기존 최적 조건과 유사하게 고정하여 캐필러리의 요철 정도에 따른 본딩 특성 변화를 평가하였다. 반면 캐필러리의 요철 효과가 매우 효과적으로 작용할 것으로 예상되는 2차 본딩의 경우 접촉 시간을 기존 최적 조건으로 고정시킨 상태에서 파워와 가압력

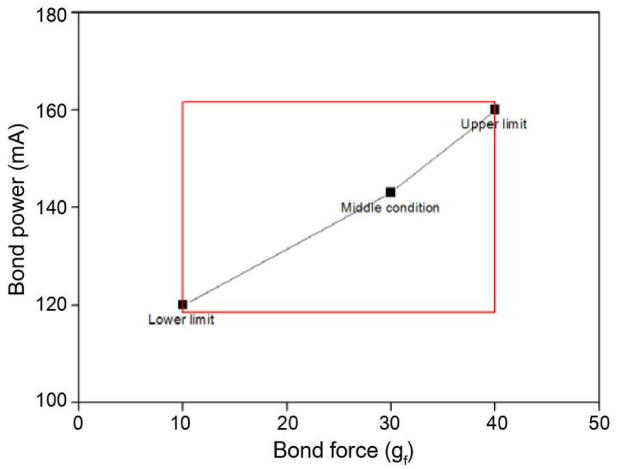

Fig. 1. Three discrete conditions in a processing window indicating combination of bonding parameters selected during second bonding.

을 동시에 감소 또는 증가시키는 조건으로 본딩을 실시하였다. 이러한 파워와 가압력의 낮은 값과 높은 값 조합 조건은 그림 1에서 알 수 있듯이 파워-가압력만을 고려한 기존 공정 범위(processing window)의 좌측 하부 및 우측 상부 한계 영역에 각각 해당된다. 본딩을 위한 패드 finish는 Au/Ni의 ENIG (electroless nickel immersion gold)로 모두 동일하였다. 공정 온도로 본딩 전 예비 온도는 150℃로 설정되었으나, 본딩 시에는 180℃로 순간 승온하여 본딩을 실시하였으며, 이는 모든 본딩 실험에서 동일하게 적용되었다. 또한 모든 Cu 와이어 본딩은 N_2-5% H_2의 포밍 가스를 0.6 *l*/min의 속도로 불어주는 과정에서 실시되었다.

본딩 실험 후 1차 본드부의 경우에서는 마운팅(mounting) 후 단면을 미세 연마하여 그 본드부 형성 상태를 주사전자현미경으로 관찰하였으며, 2차 본드부의 경우에서는 그 외형을 직접 주사전자현미경으로 관찰하였다. 공정 조건에 따라 전단(shear) 및 당김(pull) 테스트 강도 측정과 같은 본드부의 특성을 평가함으로써 Cu 와이어 본드부의 신뢰성 분석을 실시하였는데, stud 형태의 1차 본드부의 경우 전단 강도와 당김 테스트 강도를 각각 측정한 반면, 본드부 형태가 납작한 2차 본드부에서는 당김 테스트 강도 측정만을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 캐필러리의 요철 정도에 따른 1차 본드부의 접합 신뢰성 분석

그림 2는 본 연구에 사용한 Al_2O_3-ZrO_2계 재질로 만들어진 세라믹 캐필러리의 사진과 팁 부분의 주사전자현미경 이미지, 그리고 팁 부분의 거칠기를 다르게 제어한 4 종류의 캐필러리 팁 부분에서 측정된 원자

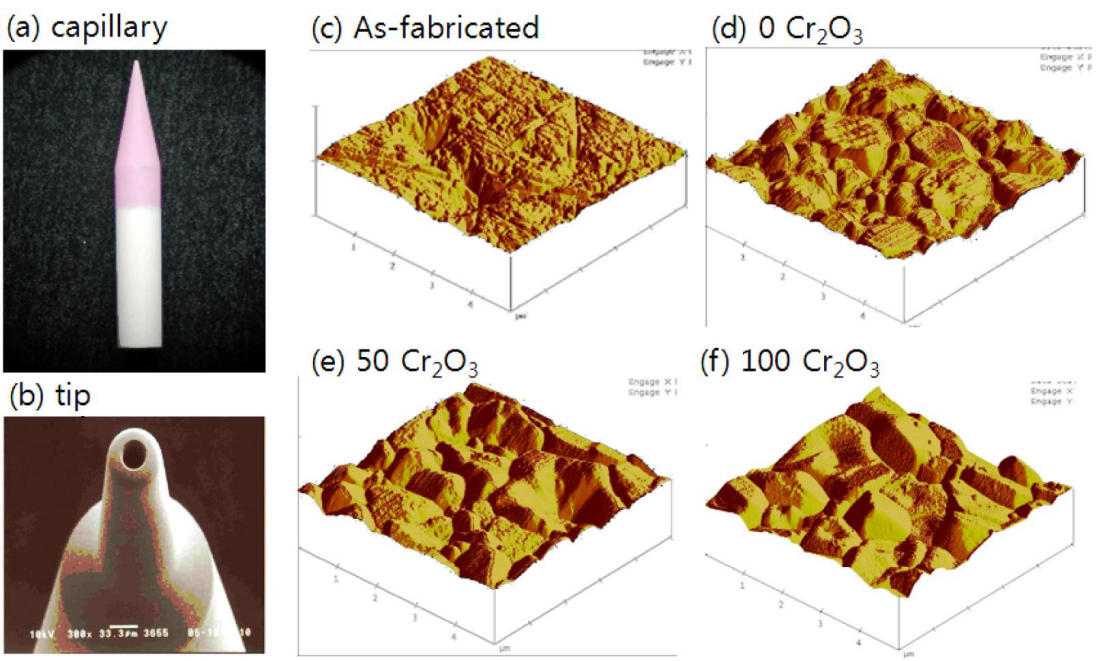

Fig. 2. Images showing (a) the shape of a ceramic capillary, (b) a SEM micrograph of the capillary tip, and AFM images showing the degree of surface roughness of capillaries used: (c) a reference, as-fabricated, (d) #1, (e) #3, and (f) #4 capillaries.

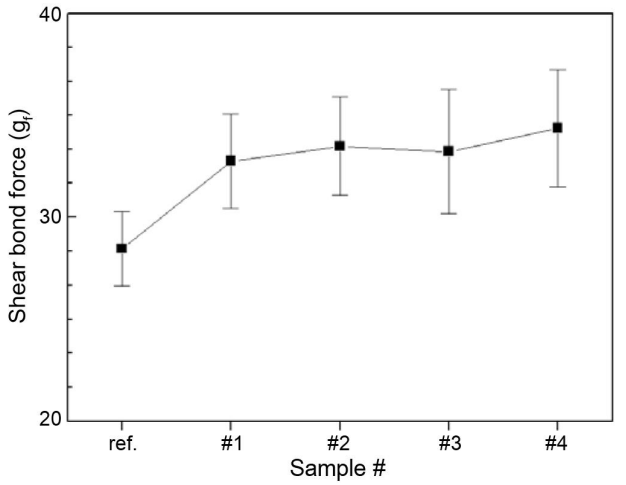

Fig. 3. Shear bond strengths of the 1st bonds with respect to the surface roughness of capillaries.

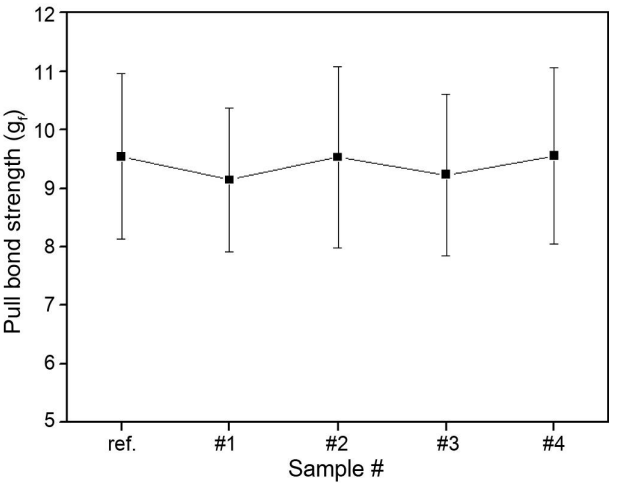

Fig. 4. Pull bond strengths of the 1st bonds with respect to the surface roughness of capillaries.

힘현미경 이미지들을 보여준다. 기준이 되는 연마된 캐필러리의 표면(그림 2(c))은 연마 후에 남겨진 스크래치와 잔류 기공들 때문에 예상보다 높은 표면 거칠기 (Ra: 16 nm)가 관찰되었으나, 이미지에서 알 수 있듯이 그 표면은 상대적으로 매우 매끈한 것을 알 수 있었다. 반면에 표면이 연마된 캐필러리를 1500℃에서 30분간 열처리한 경우에서는 열처리 분위기에 의존하면서 캐필러리 표면의 미세구조와 거칠기는 크게 변화하였다(그림 2(d)~2(f)). Al_2O_3 분위기 분말만을 사용하여 열처리하였을 경우(1번 캐필러리, 그림 2(d))에는 연마 후의 표면 스크래치가 열처리 동안의 표면 확산에 의하여 부분적으로 치유되었고, 아울러 표면에너지와 계면에너지의 평형에 의해서 형성되는 입계 열구릉(grain boundary thermal grooove)에 의해 캐필러리의 표면 거칠기는 33 nm 수준으로 증가하였다. 알루미나 분위기 분말에 Cr_2O_3의 함량을 50%까지 증가시킨 경우(그림 2 (e)) 및 100% Cr_2O_3 분말 분위기를 사용한 (그림 2 (f)) 3, 4번 캐필러리는 각각 44 nm와 46 nm의 Ra값을 나타내어 Cr_2O_3의 함량이 증가함에 따라 더욱 큰 표면 요철 정도를 나타냄을 확인할 수 있다. 이와 같은 표면 거칠기의 변화는 기상을 통한 Cr의 확산 및 Al_2O_3-ZrO_2 세라믹의 입계와 표면으로의 고용에 따른 입계에너지의 변화와 관계된 것으로 파악된다.

그림 3은 캐필러리의 표면 요철 정도에 따른 1차 본드부의 전단 강도 변화 결과이다. 전단 강도값은 바닥으로부터 1.5 um 높이의 전단 툴을 300 ㎛/s의 고속으로 전단시키면서 본드부가 떨어질 동안의 최대 강도값을 측정한 것이다. 각 조건당 100회의 전단 강도값이 측정되었고, 이의 평균값 및 편차값이 그래프에 도시되었다. 빠른 전단 속도에도 불구하고 모든 파면이 연성 모드(ductile mode)로 파단된 것이 관찰되어 우수한 파면을 나타내었으며, 파면상에서의 큰 차이점은 없었다. 그러나 그 전단 강도값은 캐필러리의 요철이 증가할수록 보다 향상되는 결과가 관찰되었는데, 특히 요철이 가장 심한 4번 캐필러리를 사용한 경우에서는 기존 캐필러리를 사용할 경우보다 15% 가량 향상된 전단 강도값을 확보할 수 있었다.

그림 4는 캐필러리의 표면 요철 정도에 따른 1차 본드부의 당김 테스트 강도 변화이다. 당김 강도값은 걸이(hook)를 1차 본드부로부터 1/3 지점, 2차 본드부로부터는 2/3 지점의 와이어 루프(roop)에 걸친 후, 1121 ㎛/s의 당김 속도로 움직이며 파단이 이루어질 동안의 최대 강도값을 측정한 것으로 각 조건당 30회의 당김 강도값이 측정되었다. 루프 형성 시 2차 본드부의 공정 조건은 표 1의 하한 조건(lower limit condition)으로 고정하였다. 캐필러리의 종류에 따라 당김 강도값에 미세한 변화가 관찰되었지만, 앞서 전단 강도값 결과와는 달리 요철 정도에 따른 당김 강도값의 변화가 어떠한 경향을 나타내지는 않았으며, 아울러 기준 캐필러리에 대하여 큰 유의차를 관찰할 수도 없었다. 이러한 결과는 파면 형성부를 고려할 경우 이해될 수 있는데, 즉, 상기의 당김 테스트에서의 파면은 공통적으로 와이어 루프부였기 때문에 모든 시편의 1차 본드부와 2차 본드부의 접합 강도는 이보다 높은 상태로 파악되었으며, 동일한 루프부 파면의 형성으로 캐필러리의 요철 변화에 따른 본드부의 강

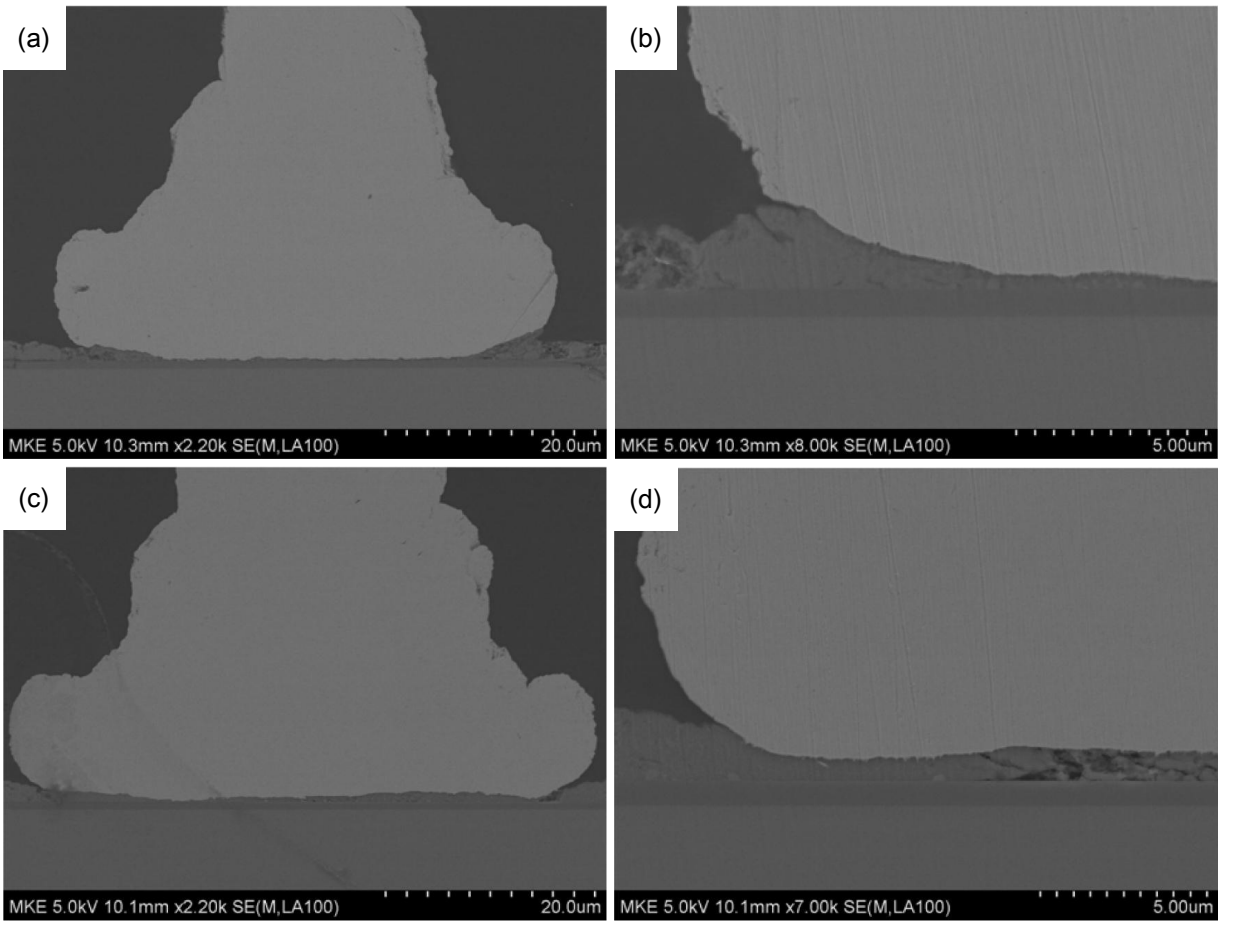

Fig. 5. Cross-sectional SEM micrographs of the 1st bonds formed with respect to the surface roughness of capillaries: (a) low and (b) high magnification images of the bond obtained by using a reference capillary. (c) low and (d) high magnification images of the bond obtained by using a #4 capillary.

도 변화는 관찰되지 않았다.

그림 5는 캐필러리의 표면 요철 정도에 따른 1차 본드부의 단면 형상 변화를 보여준다. 일반적인 캐필러리 사용 시(그림 5 (a) 및 5 (b))에 비하여 요철이 심한 4번 캐필러리 사용 시(그림 5 (c) 및 5 (d)) 본드부의 가장자리 부분이 깊숙이 패드에 박힌 이미지가 관찰되어 본딩 시 Cu 와이어에서 보다 효과적인 소성 변형 및 유동이 일어났음을 관찰할 수 있었다. 따라서 캐필러리의 표면 요철 증가는 1차 본드부 형성 과정에서 보다 효과적인 Cu 와이어의 소성변형 및 유동을 유도하여 본딩 면적 증가 및 가공 경화(work hardening) 효과로 인한 접합 강도를 향상(그림 3의 결과)을 야기시킨 것으로 분석된다. 반면 와이어 루프부를 파단시킨 당김 테스트의 경우에서는 캐필러리의 요철 수준에 관계없이 표준 편차 이내에서 일정한 당김 강도값을 나타내는 것으로 분석되었다.

3.2. 캐필러리의 요철 정도 및 공정 조건에 따른 2차 본드부의 접합 신뢰성 분석

그림 6은 캐필러리의 요철 정도 및 공정범위상 위치에 따른 2차 본드부의 당김 강도 변화 결과이다. 당김 테스트는 실시 과정에서 걸이 위치는 1차 본드부로부터 2/3 지점, 2차 본드부로부터는 1/3 지점의 와이어 루프부에 걸쳐 실시했는데, 이는 2차 본드부에 보다 강한 당김 응력을 집중시키기 위함이었다. 당김 속도는 앞서와 동일했으며, 파단이 이루어질 동안의 최대 강도값을 각 조건당 30회 측정하였다. 루프 형성 시 1차 본드부의 본딩 조건은 표 1의 1차 본딩 조건으로 고정하였다. 2차 본딩 시의 본딩 조건은 공정 범위의 좌측 하부 영역에 해당하는 하한 조건(lower limit condition), 공정 범위의 중심에 해당하는 중앙 조건(middle condition), 공정 범위의 우측 상부 영역에 해당하는 상한 조건(upper limit condition)의 세가지 조

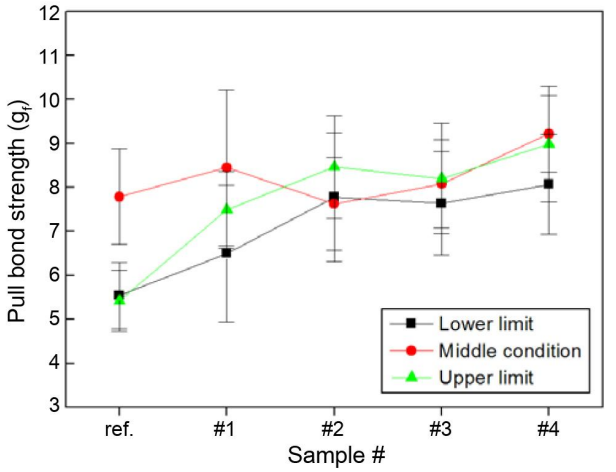

Fig. 6. Pull bond strengths of the 2nd bonds measured as a function of the degree of surface roughness of capillaries and locations in a processing window.

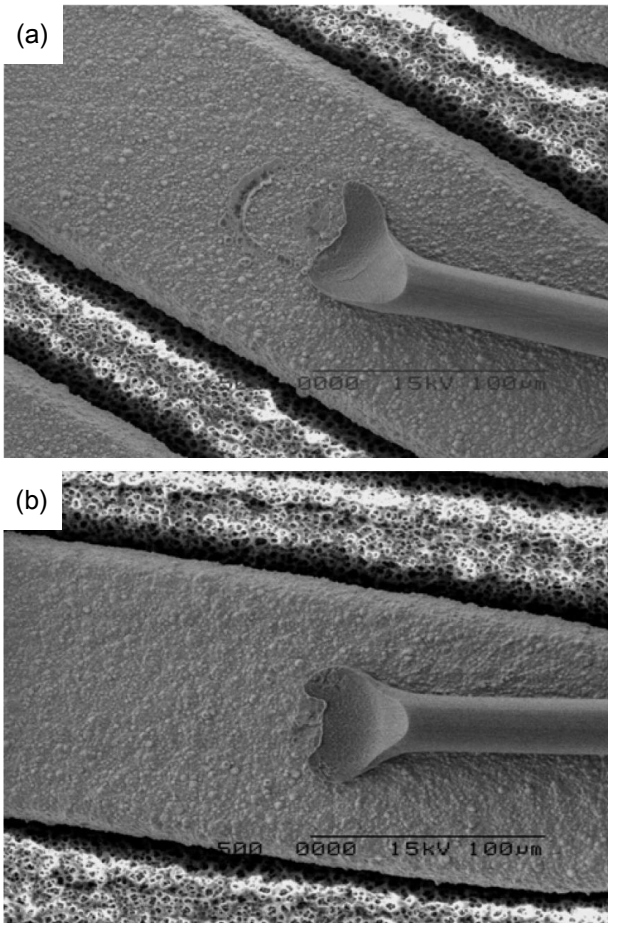

Fig. 7. SEM images showing the 2nd bonds formed using (a) reference and (b) #4 capillaries on the lower limit in a processing window.

건이 각각 시도되었다. 그 결과 공정 범위 중심부에 해당하는 파워 및 가압력으로 구성된 중앙 조건에서는 캐필러리의 요철 변화가 당김 강도값의 변화에 의미있는 경향을 나타내지 않았지만, 하한부 및 상한부의 공정 조건에서는 캐필러리의 요철 정도가 증가함에 따라 당김 강도값이 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 상한부 및 하한부에서 4번 캐필러리를 사용할 경우 기존 캐필러리 대비 당김 강도값이 55.5%나 향상되는 결과가 관찰되었다. 이러한 결과는 요철이 발달된 캐필러리의 효용성을 잘 보여주는 것으로, 요컨대 공정 범위를 크게 확장시킨 우수한 결과이다.

중앙 조건으로 2차 와이어 본딩을 수행한 경우, 캐필러리의 종류에 상관없이 대부분 와이어의 루프부에서 파단이 일어났는데, 이는 중앙 조건으로 접합된 2차 본드부의 접합 강도가 충분한 수준으로 얻어져 우수한 접합부가 형성되었음을 나타낸다. 반면 하한 및 상한 공정 조건에서 기존 캐필러리를 사용할 경우는 대부분 2차 본드부에서 파단이 발생하였는데, 이것이 상대적으로 낮은 당김 강도값이 측정된 이유였다. 따라서 하한 및 상한 공정 조건에서 기존 캐필러리를 사용한 Cu 와이어 본딩은 상대적으로 낮은 2차 본드부의 접합 강도를 야기시키는 것으로 분석되었다. 그러나 캐필러리의 요철을 증가시킬수록 파면부는 2차 본드부에서 와이어 루프부로 확률적으로 점차 이동하였는데, 이에 비례하여 당김 강도값도 점차 증가하는 결과가 관찰되었다. 결론적으로 요철이 발달된 캐필러리를 사용할 경우 하한 및 상한 공정 조건에서 2차 본드부의 접합 강도, 즉, 접합 신뢰성을 크게 향상시켜 당김 강도값이 향상되는 결과가 도출되었다.

그림 7은 공정 범위상 하한 영역에서 본딩 후 관찰된 2차 본드부의 SEM 이미지이다. 일반적인 캐필러리를 사용한 경우에서는 패드부에 압흔 자국이 남을 정도의 압력이 가해졌음에도 불구하고 캐필러리의 열-초음파 압착에 의해 소성 변형되며 패드부와 접합된 실제 폭은 약 16.3 ㎛ 정도였다(그림 7(a)). 반면에 요철이 가장 발달된 4번 캐필러리를 사용한 경우에서는 동일 공정 조건임에도 패드부에 압흔 자국이 남지 않았고, 패드와 접합부를 형성한 폭은 약 22.4 ㎛에 이르렀다(그림 7(b)). 따라서 동일한 하한 공정 조건에도 불구하고 요철이 발달된 캐필러리를 사용하면 Cu 와이어의 보다 넓은 면적을 보다 균일하게 압착하여 패드부에는 압흔 자국을 남기지 않고, 접합 면적은 향상시키는 결과를 얻을 수 있었다. 요컨대 요철이 발달된

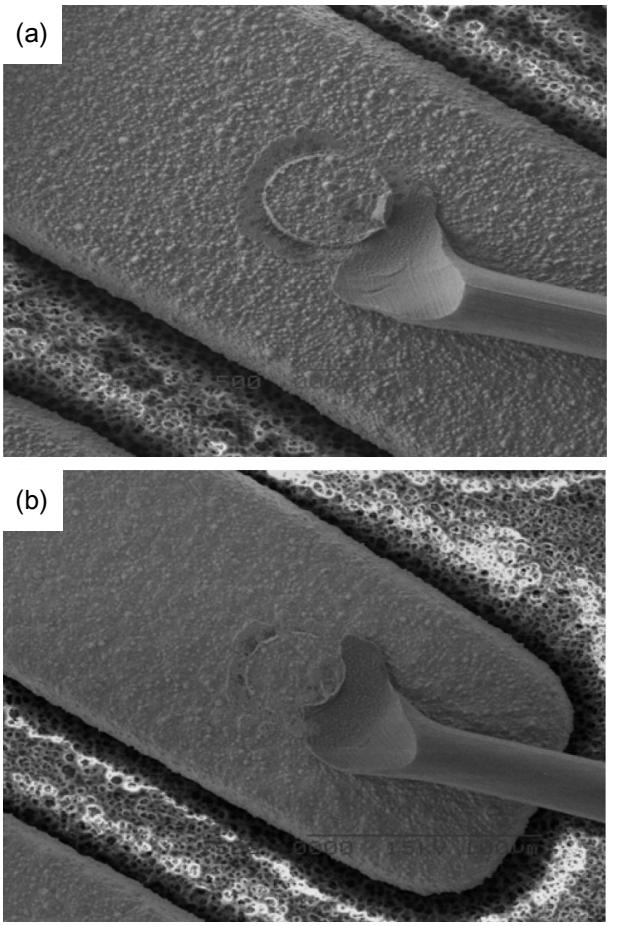

Fig. 8. SEM images showing the 2nd bonds formed using (a) reference and (b) #4 capillaries on the upper limit in a processing window.

캐필러리는 본딩 시 가해지는 물리적 에너지의 더 많은 부분이 Cu 와이어를 소성 변형시키는데 사용되도록 함으로써 와이어의 소성 변형 및 유동을 보다 효과적으로 야기시켜 패드 데미지를 최소화 시키면서도 그림 6의 결과에서처럼 2차 본드부의 접합 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있었다.

그림 8은 공정 범위상 상한 영역에서 본딩 후 관찰된 2차 본드부의 SEM 이미지이다. 그림 7의 결과와 유사하게 기존 캐필러리 사용 시에는 Cu 와이어와 패드간의 접합부 폭이 약 19.4 ㎛에 머물렀으나(그림 8 (a)), 요철이 가장 발달된 4번 캐필러리를 사용한 경우에서는 동일 공정 조건임에도 불구하고 23.5 ㎛에 이르는 접합부 폭이 관찰되어(그림 8 (b)) 그림 6의 결과들을 잘 대변해 주었다. 파워 및 가압력이 큰 공정 조건이므로 모든 2차 본드부 관찰에서 패드 표면부에 캐필러리의 압흔 자국이 관찰되었으나, 요철이 발달된 캐필러리를 사용한 경우일수록 상대적으로 약한 압흔 자국이 관찰되었다.

이상의 결과들로부터 요철형 캐필러리를 사용하여 Cu 와이어 본딩을 실시한 경우 효과적인 Cu 와이어의 소성 변형 및 유동을 유도하여 bondability가 크게 향상될 수 있음을 확인할 수 있었다. 결과적으로 동일한 공정 조건에서는 보다 우수한 본딩 강도를 확보할 수 있고, 파워 및 가압력과 같은 공정 변수 측면에서는 공정 범위를 크게 확장시키는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 요철형 캐필러리는 차후 Cu 와이어 본딩 기술에서 bondability 및 공정 범위를 향상시키는데 매우 유용한 부품이 될 것으로 기대된다.

4. 결 론

본 연구를 통해 표면 요철이 향상된 캐필러리를 사용하여 캐필러리의 표면 요철 정도에 따른 Cu 와이어의 본딩 특성 변화를 분석하고, 그에 따라 예상되는 공정 범위의 변화를 조사해 보았다. 1차 본드부의 전단 강도값은 캐필러리의 요철이 증가할수록 보다 향상되는 결과가 관찰되었는데, 특히 Ra값 46 nm의 표면요철을 가지는 캐필러리를 사용한 경우에서는 기존 캐필러리를 사용할 경우보다 15% 가량 향상된 전단 강도값을 확보할 수 있었다. 2차 본드부의 경우 공정 범위의 하한 및 상한 공정 조건에서 캐필러리의 요철 정도가 증가함에 따라 당김 강도값이 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, Ra값 46 nm의 표면요철을 가지는 캐필러리를 사용할 경우 그 강도값이 55.5%나 향상되는 결과가 관찰되었다. 이러한 결과는 요철이 발달된 캐필러리의 효용성을 잘 보여주는 것으로, 캐필러리의 표면 요철 증가는 본드부 형성 과정에서 보다 효과적인 Cu 와이어의 소성변형 및 유동을 유도하여 bondability가 크게 향상되고 본드부의 접합 강도를 향상시킨 것으로 분석되었다. 결과적으로 요철형 캐필러리를 사용함으로써 동일한 공정 조건에서는 보다 우수한 본딩 강도를, 공정 측면에서는 공정 범위를 크게 확장시키는 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 해외수요처연계기술개발사업(S1073419) “차세대 Cu-wire 본딩용 세라믹 캐필러리 제조기술 개발”에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. J. S. Cho, K. A. Yoo, J. T. Moon, S. B. Son, S. H. Lee, and K. H. Oh, *Met. Mater. Int.* **18**, 881 (2012).
2. S. murali, N. Srikanth, and C. J. Vath Ⅲ, *Mater. Res. Bull.* **38**, 637 (2003).
3. P. Ratchev, S. Stoukatch, and B. Swinnen, *Microelectron. Reliab.* **46**, 1315 (2006).
4. H. G. Kim, D. H. Cho, E. K. Jeong, W. Y. Kim, and S. H. Lim, *Electron. Mater. Lett.* **5**, 99 (2009).
5. J. W. Joo, *J. Microelectron. Packag. Soc.* **16**, 11 (2009).
6. J. Onuki, M. Koizumi, and I. Araki, *IEEE Trans. Compo. Hybrids Manufact. Technol.* **12**, 550 (1987).
7. K. Toyozawa, K. Fujita, S. Minamide, and T. Maeda, *IEEE Trans. Compo. Hybrids Manufact. Technol.* **13**, 667 (1990).
8. H. J. Kim, J. Y. Lee, K. W. Paik, K. W. Koh, J. Won, S. Choe, J. Lee, J. T. Moon, and Y. J. Park, *IEEE Trans. Compo. Packag. Technol.* **26**, 367 (2003).
9. N. Srikanth, S. Murali, Y. M. Wong, and C. J. Vath Ⅲ, *Thin Solid Films*, **462**, 339 (2004).
10. H. M. Ho, J. Tan, Y. C. Tan, B. H. Toh, and P. Xavierg, *Proc. 55th Electronic Components and Technology Conference*, p.292, IEEE Components, Packaging and Manufacturing Technology Society, Orlando, Florida (2005).
11. S. Murali, N. Srikanth, Y. M. Wong, and C. J. Vath Ⅲ, *J. Mater. Sci.* **42**, 615 (2007).
12. Z. W. Zhong, H. M. Ho, Y. C. Tan, W. C. Tan, H. M. Goh, B. H. Toh, and J. Tan, *Microelectron. Eng.* **84**, 368 (2007).
13. M. Drozdov, G. Gur, Z. Atzmon, and W. D. Kaplan, *J. Mater. Sci.* **43**, 6038 (2008).
14. Z. W. Zhong, *Microelectron. Int.* **26**, 10 (2009).
15. L. England, S. T. Eng, C. Liew, and H. H. Lim, *Microelectron. Reliab.* **51**, 81 (2011).
16. L. T. Nguyen, D. McDonald, A. R. Danker, and P. Ng, *IEEE Trans. Compo. Packag. Manifact. Technol.* **18**, 423 (1995).
17. S. Kaimori, T. Nonaka, and A. Mizoguchi, *IEEE Trans. Adv. Packag.* **29**, 227 (2006).
18. K. S. Goh and Z. W. Zhong, *Microelectron. Eng.* **84**, 362 (2007).
19. J. Lee, M. Mayer, Y. Zhou, and S. J. Hong, *Microelectron. J.* **38**, 842 (2007).
20. S. L. Khoury, D. J. Burkhard, D. P. Galloway, and T. A. Scharr, *IEEE Trans. Compo. Hybrids Manufact. Technol.* **13**, 673 (1990).
21. D. H. Riu, J. H. Lee, J. H. Kim, H. J. Kang, M. R. Jang, and J. S. Hong, *Project Report*, SMBA, Korea (2011).
22. http://www.peco.co.kr/technology_set.htm.
23. http://www.mke.co.kr/l_eng/03_pro/index_04.php.