[논 문] 한국재료학회지
Korean Journal of Materials Research
Vol. 6, No. 11 (1996)

ACA COG의 접합특성에 대한 고온시효의 영향

한 정 인 · 홍 성 제
전자부품종합기술연구소, 부품연구본부

The effect of High Temperature Aging on the Bonding Characteristics of ACA COG

Jeong-In Han and Sung-Jei Hong
Materials and Component Research Part, Korea Electronics Technology Institute
455-6, MaSan-Ri, JinWi-Myon, PyungTaek-Si, KyungGi-Do, Korea

초 록 실제 사용시 신뢰성을 보장하기 위하여, 고온에서 장시간 동안의 시효로 인한 ACA COG (Anisotropic Conductive Adhesives Chip On Glass) 접합 특성의 변화가 연구되었다. 모든 접합 시편들은 160 ℃에서 156시간 동안 유지되었고 시효하는 동안의 접촉저항을 측정하여 초기 접촉저항과 비교하였다. 그 결과, ACA의 입자밀도가 증가할수록 접촉저항의 변화는 감소하였다. 특히, 156시간 이후, 4000개/mm²의 입자밀도를 가진 ACA에서는 접촉저항의 변화가 나타나지 않았다. 입자크기의 경우 작은 입자를 가진 ACA일수록 큰 입자크기를 가진 ACA에 비해 접촉저항이 적게 변하였다. 그리고 5 ㎛ 입자를 가진 ACA는 160 ℃에서 시효후에도 접촉저항의 변화를 보이지 않았다. 또한 4000개/mm² 및 5 ㎛ 의 입자를 가진 ACA를 사용한 시편은 접합상태가 안정하였기 때문에 160 ℃에서도 경화수지의 팽창 및 리플로우(reflow)에 의한 영향을 받지 않았다. 따라서 이 ACA에서는 160 ℃에서 156시간 동안 시효한 후에도 오픈(open)이 나타나지 않았다.

Abstract For the reliability at the real application, the variations of ACA COG (Anisotropic Conductive Adhesives Chip On Glass) bonding characteristics was investigated during the long time aging at the higher temperature. All the bonded samples were maintained at 160 ℃ for 156 hrs. During the aging, the contact resistances were measured and compared with the initial value. As a result, the change of contact resistance decreased as the particle density of ACA increased. Specially, after 156 hrs, ACA with particle density of 4000 particles/mm² showed no degradation of contact resistance. In case of particle size, the contact resistance of ACA with smaller particle size was changed slightly compared to that of ACA with larger particlesize, and ACA with 5 ㎛ particles exhibited no change of contact resistance after aging at 160 ℃. Also, the sample using ACA with 4000 particles/mm² and 5 ㎛ was not affected by the expansion and reflow of resin at 160 ℃ because its bonding state was stable. Therefore, at this type of ACA, the open did not appeared after aging at 160 ℃ for 156 hrs.

1. 서 론

최근 우리 사회는 정보화 물결로 인해 복잡하고도 다양한 형태를 띄게 되었고, 이 정보화 사회를 받쳐줄 수 있는 노트북 PC, 휴대용 TV 등 여러가지 휴대형 정보기기들도 함께 발전하였다. 이 정보기기들은 간편하게 휴대할 수 있도록 작고 가벼운 특성이 요구되는데, 이러한 경박단소화를 실현시켜 주는 것 중의 하나가 바로 TFT-LCD 이다[1]. 그러나 디스플레이(display)의 고해상도가 요구됨에 따라 TFT-LCD에도 고화소 밀도의 소자형성 기술 뿐 아니라 구동 칩(chip)과의 고밀도 다단자 접속기술의 발전이 요구되고 있다. 현재 상용화 되어있는 액정 패널(panel)과 구동 칩과의 실장방법은 TFT-LCD의 경우 100 ㎛

피치(pitch)의 QFP/TAB (Quad Flat Package/Tape Automated Bonding) 방식으로[2], 이러한 실장기술로 디스플레이를 구성할 경우 실장단가는 전체원가의 20% 이상을 차지하고, 화상표시부분의 30% 이상에 해당하는 면적을 구동 칩과의 연결부분이 점유하게 되어 보다 작은 디스플레이 시스템을 구성할 수 없을 뿐만 아니라 전극간의 피치도 100 ㎛ 이하로는 실장이 불가능한 한계에 부딪히게 되어 고화질의 화상을 구현할 수 없다. 향후의 정보통신기기용 디스플레이의 저가격화, 고화질화, 소형, 박형화 추세는 점차 가속화될 것이기 때문에 이러한 추세에 대응하면서 저가격으로 실장하기 위하여 기존의 TAB 방식에서 점차로 COG 방식의 실장기술이 절실히 요구되고 있다[3,4].

COG란 웨이퍼에서 절단된 베어(bare) 상태의 칩을 LCD의 유리 기판 위에 형성된 패드 패턴(pad pattern)에 탑재하는 기술로, DIP(Dual In Package) 등의 케이스를 붙인 칩을 사용하는 것보다 실장 공정이 줄어들면서 저가격으로 실장밀도를 향상시킬 수 있다[5,6]. 특히 이방성 도전 접착제(Anisotropic Conductive Adhesives:ACA)를 이용한 COG는 ACA를 기판 위에 도포후 칩을 직접 탑재하는 접합기술로, 이 기술을 사용함으로써 70 ㎛ 이하의 피치에 대응하는 고밀도 실장을 할 수 있기 때문에 ACA COG 접합은 TFT-LCD 뿐 아니라 미세 피치가 요구되는 STN-LCD에도 많이 응용되고 있고, 또한 ACA의 재생이 용이하여 고수율의 접속이 가능하다.

ACA를 이용한 COG의 접합부에는 온도등 주변환경이 미치는 영향이 크기 때문에 LCD를 사용하는 환경조건이 매우 중요하다. COG의 문제점은 접합 후 칩의 범프(bump)와 유리 기판상의 전극간 접촉저항, 그리고 사용중에 발생할 수 있는 접합부위의 특성변화 등 신뢰성 문제이다. 정보통신기기들은 상온 뿐 아니라 온도가 매우 높고 다습한 곳에서도 사용되기 때문에 이러한 주변환경이 COG 접합 상태에 미치는 영향은 매우 크다. 따라서 COG 접합이 신뢰성을 보장받기 위해선 실장 후 나타내는 최소 값의 접촉저항을 고온, 다습 등의 환경에서도 장시간 계속 유지하여야 한다.

본 연구에서는 COG 접합의 신뢰성을 평가하는 시험방법 중 하나인 고온시효를 행한 후 이러한 시효가 접합에 미치는 영향을 관찰하였다. 즉, 실장시 가해주는 하중, ACA의 입자밀도, 입자크기 등 조건을 각각 변화시켜 실장 후 고온하에서 이들을 장시간 방치하여 접촉저항의 변화 및 오픈(open) 등을 관찰하였고, 이로써 패드와 ACA 속에 있는 도전성 입자들간에 발생되는 접촉저항의 변화를 최소화 시킬 수 있는 최적의 접합조건을 확립하였다.

2. 실 험 방 법

본 실험에서는 LCD 사용 환경의 변화에 따른 온도 변화 및 접합 후의 시간 경과 등이 COG 접합 상태에 미치는 영향을 관찰하기 위한 가속실험으로서, 실제 사용온도 보다 훨씬 높은 160 ℃에서 시편들을 유지하고 시간이 경과하면서 나타나는 접합 상태의 변화를 측정 및 관찰하였다.

COG 시편 제작 및 접합 후의 초기저항 측정은 이전의 본문[3]에 자세히 서술하였다. 우선 COG 접합시편의 제작은, 포토리소그래피(photo-lithography) 공정을 통해 코닝 7059 글라스(Corning 7059 Glass) 위에 형성한 패드 패턴에 ACA를 도포하고, 그 위에 칩을 실장하여 압력을 가한 상태에서 자외선을 사용하여 ACA를 경화하였다. ACA는 도전성 ball 입자가 resin에 균일하게 분산되어 있어 실장시 pad와 bump간에 도전경로를 제공하는 역할을 하는데, 도전성 ball 입자는 속이 빈 플라스틱 ball에 Au가 coating되어 있는 것으로, 실장시 인가된 하중에 의해 pad와 bump 사이에서 압력을 받아 ball이 소성변형을 하면서 pad/ball/bump가 기계적으로 접촉하게 되고 이때 ball 외곽에 coating된 Au를 통하여 전류가 흐르게 된다. 본 실험에서 사용한 ACA는 미국 Zymet사의 ZXUV-201 series로 ACA의 입자 크기는 5, 7, 12 ㎛ 세 종류이고, 입자 밀도는 각 입자크기별로 500, 1000, 2000, 4000 개/mm^2 이며 각 입자크기 및 입자밀도 별로 실장하중을 변화시켜 가면서 COG 접합을 실시하였다. ACA 경화는 365 nm, 265 nm의 두가지 자외선을 사용하여 2단계로 실시하였다. 접합 후 각 접합조건

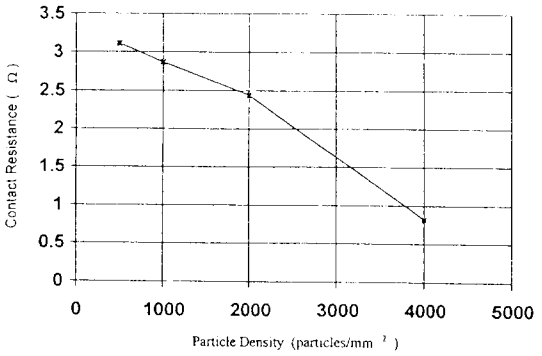

Fig. 1. Variations of the contact resistance with particle density (load of 6kg)

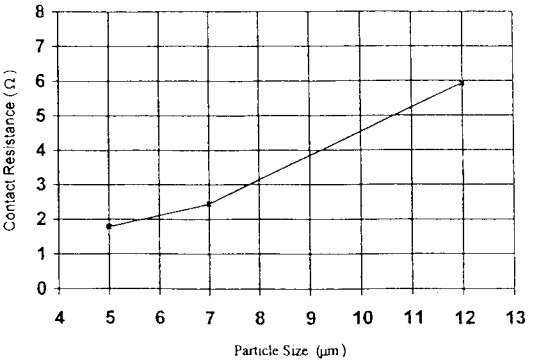

Fig. 2. Variations of the contact resistance with particle size (2000 particles/mm²)

에 따른 접촉저항의 측정은 4 단자법으로 측정한 패드 피막의 비저항을 이용하여 각각의 패턴에서의 선저항을 구한 후, 이러한 선저항과 칩에서의 수평저항치를 시편들의 저항에서 감하여 ACA의 접촉저항을 구하였다.

이렇게 제작된 COG 접합 시편들을 160 ℃의 고온 환경에서 장시간 유지하면서 각 조건별로 시간에 따른 변화를 살펴보았다. 즉, 160 ℃에서 156 시간 방치하여 시효시키면서 각 ACA의 입자크기 및 입자밀도 별로 시간 경과에 따라 변하는 접촉저항을 측정하였고, 또한 접합의 파괴로 인해 저항이 무한대로 나타나는 오픈을 조사, 측정하여 고온시효가 COG 접합상태에 미치는 영향을 관찰하였다.

3. 실험결과 및 토의

ACA의 도전성 입자 종류에 따른 COG 접합 특성

이전의 논문[3]에서와 같이 입자 밀도가 다른 ACA를 사용하여 6 kg의 일정한 하중으로 접합한 후 각각의 접촉저항을 측정한 결과를 Fig. 1에 나타내었으며 이전 결과와 같은 경향을 나타내었다. 즉, 입자밀도가 500 개/mm² 일 때 접촉저항은 3.2 이었으나, 1000 개/mm²일때 접촉저항은 2.87 으로 감소하였고, 입자밀도가 2000, 4000 개/mm²로 증가할수록 접촉저항은 2.44, 0.82 으로 계속 감소하는 경향을 나타내었다. 일정한 하중에서 입자밀도를 변화시키는 경우 입자 표면적의 증가에 따른 도전 경로수의 증가와 입자당 하중의 감소에 따른 접촉면적의 감소효과가 복합적으로 일어난다. 이것을 Fig. 1의 결과에 비추어 볼 때 입자밀도가 증가한 경우 도전 경로수의 증가 효과가 접촉면적의 감소 요인보다 효과적으로 작용하여 접합특성을 개선시키는 것을 알 수 있었다. 한편, 2000 개/mm² 도전입자의 크기를 달리하여 6 kg의 일정한 하중으로 접합한 경우, 입자의 크기에 따른 접촉저항의 변화는 Fig. 2와 같이 입자크기가 5 ㎛일 경우 1.78 이고, 7 ㎛의 경우 2.44, 12 ㎛의 경우 5.94 으로 입자의 크기가 증가함에 따라 접촉저항이 증가하는 경향을 나타내었다.

입자밀도별 ACA에 대한 고온 시효의 영향

본 실험에서는 각 조건별로 접합후 주위 환경에 따른 저항변화와 관련된 신뢰성 시험을 하였다. 우선, 6 kg의 하중으로 접합후 상온에서 156시간 방치하였을 때 입자의 크기가 달라도 시간에 따른 접촉저항의 변화는 거의 없었다. 그러나 이러한 입자들을 1.5, 3 kg의 적은 하중으로 접합하였을 때 접촉저항은 시간이 지남에 따라 초기치의 20 %까지 증가하는 경향을 나타내었다.

한편, 입자밀도가 다른 ACA를 6 kg의 일정하중으로 접합한 시편들을 160 ℃에서 유지하면서 시간 경과에 따른 접촉저항의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 입자밀도가 500 개/mm²인 경우 초기 저항은 3.2 이었으나 시간이 경과함에 따라 저항이 급격히 증가하여 156시간 후에는 200.4 으로 60배 이상 증가하였다. 그러나 입자밀도가 증가함에 따라 시간 경과에 따른 저항증가의 경향은 감소하였고 입자밀도가 4000 개/mm²인 경우 초기의

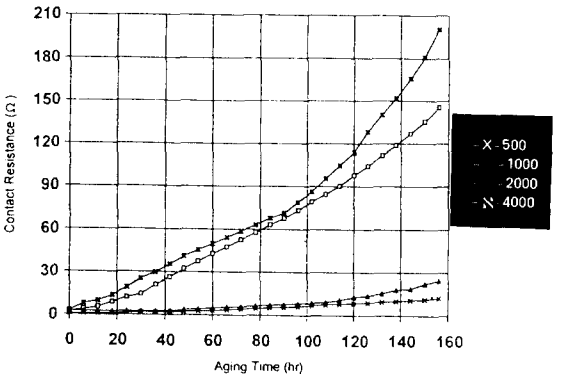

Fig. 3. Change of the contact resistance with particle density during aging at high temperature (6kg, 160℃)

0.82 에서 156시간 고온시효 후에도 12.4 으로 가장 적은 저항변화를 나타내었다. 이것은 입자밀도별로 실장한 초기 접촉저항과 비교하여 볼 때, 접촉저항이 높은 500 개/mm²의 경우 고온하에서 시간이 경과함에 따라 저항이 빠른 속도로 증가하지만, 접촉저항이 가장 낮은 4000 개/mm²의 경우 고온 분위기에서 시간이 경과하여도 접촉저항의 변화가 가장 적게 나타나는 것으로 볼 수 있다. 즉, 초기에 접촉저항이 높은 경우 도전성 입자와 패드간 접촉이 상대적으로 불안정하여 160 ℃의 고온에서 ACA 및 주변 경화수지의 팽창 및 리플로우(reflow) 등에 의해 입자가 이동하면서 접촉저항이 증가하지만 접촉저항이 낮은 것일수록 상대적으로 많은 입자에 의해 많은 도전경로가 제공되고 입자와 패드의 접촉상태 또한 안정하여 160 ℃의 고온에서 ACA 및 주변의 경화 수지가 팽창 및 리플로우 하여도 접촉부는 상대적으로 영향을 받지 않은 것으로 보인다. 또한 이것은 입자밀도가 증가하여도 입자수 증가에 의한 그림자 효과보다는 ACA 입자의 수, 즉 도전경로 증가의 영향이 접촉저항 감소에 보다 큰 효과를 미친 것으로 보인다. 이것을 Fig. 4의 접합부위 사진에서 확인할 수 있었다.

Fig. 4의 (a), (b), (c)는 각각 입자밀도가 500 개/mm², 2000 개/mm² 및 4000 개/mm² 인 ACA를 고온에서 156시간 유지한 후 접합부의 변화를 광학현미경으로 관찰한 사진으로, 접합부에서의 ACA가 많은 변화를 일으켰음을 볼 수 있다. 즉, 160℃에서 156시간

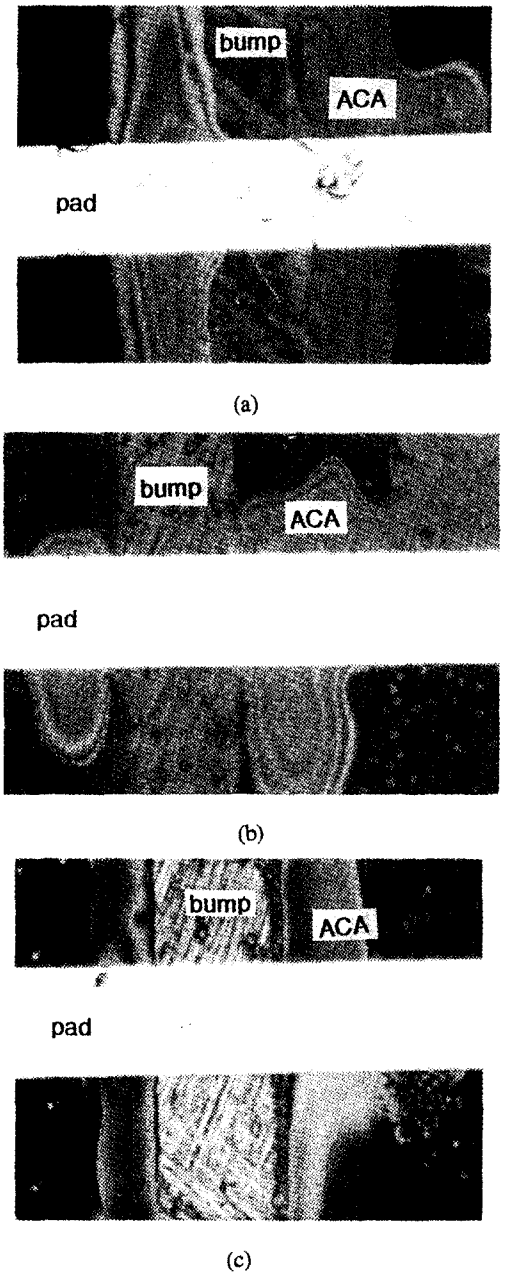

Fig. 4. Photograph of bonding area after aging about 156hrs at 160℃ (a) 500 particles/mm² (b) 2000 particles/mm² (c) 4000 particles/mm²

유지한 ACA의 경우 입자들이 매우 불균일한 분포를 보이고 있는데, 이는 경화된 ACA가 고온에서 심하게 유동하면서 입자분포의 상태를 변화시킨 것에 기인하고, 또한 접속된 부위의 도전입자에도 영향을 끼쳐 접촉저항이 변한 것이다. 그러나 이와 같은 변형에도 불

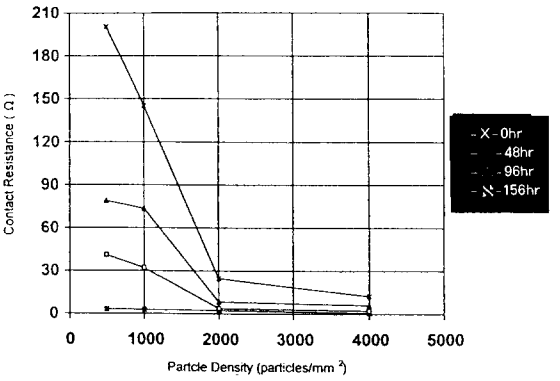

Fig. 5. Variations of the contact resistance with aging time at different particle density(6kg, 160℃)

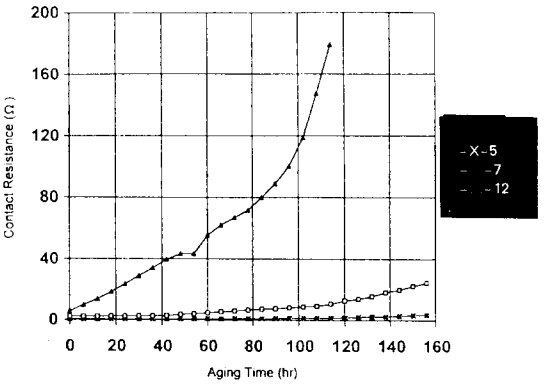

Fig. 6. Change of the contact resistance with particle size during aging at high temperature(6kg, 160℃)

구하고 입자밀도가 증가할수록 접촉저항 변화가 적은 것은 상대적으로 많은 입자에 의해 안정된 도전경로가 제공되었기 때문에 접촉상태가 안정하여진 것이다.

160 ℃의 고온에서 장시간 유지하였을 때 입자밀도별 접촉저항의 변화를 각 시간대별로 유지한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 접합 직후 입자밀도에 따른 저항의 차이는 크지 않지만 시효시간이 증가할수록 그 차이가 점점 심해지는 경향을 나타내었고, 앞서의 Fig. 3의 경우와 마찬가지로 특히 입자밀도가 낮은 경우 저항이 가장 심하게 증가하였다. 이는 입자밀도 감소에 따라 도전경로가 감소함으로써 상대적으로 불안정하던 접합상태가 고온의 영향을 받으면서 Fig. 4에 나타낸 것 같이 ACA의 팽창 및 리플로우에 의해 초기상태보다 더 불안정한 상태가 되었기 때문에 접촉저항이 증가한 것임을 알 수 있었다.

입자크기별 ACA에 대한 고온 시효의 영향

입자크기가 각각 5, 7, 12 ㎛인 ACA를 사용하여 접합후 160 ℃에서 유지하면서 시간경과에 따른 접촉저항의 변화를 관찰하였고 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 입자크기가 12 ㎛인 경우 초기의 접촉저항이 5.92 에서 시간이 경과함에 따라 저항이 급격히 증가하여 114시간 경과시 179.3 으로 초기의 30배까지 증가하였으며 그 이후에는 저항측정이 불가능하였다. 그러나, 입자 크기가 작아질수록 시효시간에 따른 저항증가 경향은 둔화되었고, 입자크기가 5 ㎛인 경우 초기의 0.53에서 156 시간 후 3.65 으로 시효시간에 따른 접촉저항의 변화는 거의 관찰되지 않았다. 고온하에서 접촉저항이 급격히 증가한 입자크기 12 ㎛의 경우 UV 경화 시 입자 등의 그림자에 의하여 ACA의 경화수지가 가려져 상대적으로 경화되지 못한 그림자 효과(shadow effect)에 의해 초기의 접촉저항이 매우 높았고 매우 불규칙한 경향을 보인 것과 무관하지 않은 것으로 보인다. 즉, 초기에 접촉상태가 매우 불안정하였던 도전입자가 고온에서 유지하는 동안에 ACA 및 주변의 경화수지의 팽창 및 리플로우에 의해 함께 유동하면서 접촉상태가 더욱 더 불안정하여졌거나 혹은 접촉부위로부터 빠져나와 접촉저항을 증가시킨 것이다. 그러나 입자크기가 5 ㎛로 작은 경우 고온하에서 장시간 유지하여도 접촉저항의 변화가 거의 발견되지 않았다. 즉, 입자크기가 작을수록 입자의 그림자에 의해 가려진 경화수지의 부분이 감소하고 따라서 그림자 효과가 상대적으로 적어지기 때문에 패드/ACA 도전입자 간의 접촉상태가 매우 양호하여 이러한 안정된 접촉상태가 고온하에서도 초기의 접촉상태를 유지, 접촉저항의 변화가 거의 없었다.

160 ℃의 고온에서 156시간 유지후의 입자크기 5 ㎛, 12 ㎛인 ACA의 접합부를 광학현미경으로 각각 관찰, 비교하여 보면 Fig. 7에서 볼 수 있는 것처럼 12 ㎛ ACA의 경우 경화수지가 많이 변형된 모습을 보였으나 5 ㎛ ACA의 경우는 변화가 거의 일어나지 않았음을 볼 수 있다. 이러한 사진 관찰의 결과로 보아 입자크기가 큰 경우 그림자 효과에 의해 접합시의 접촉상태가 불안정하여 접촉저항이

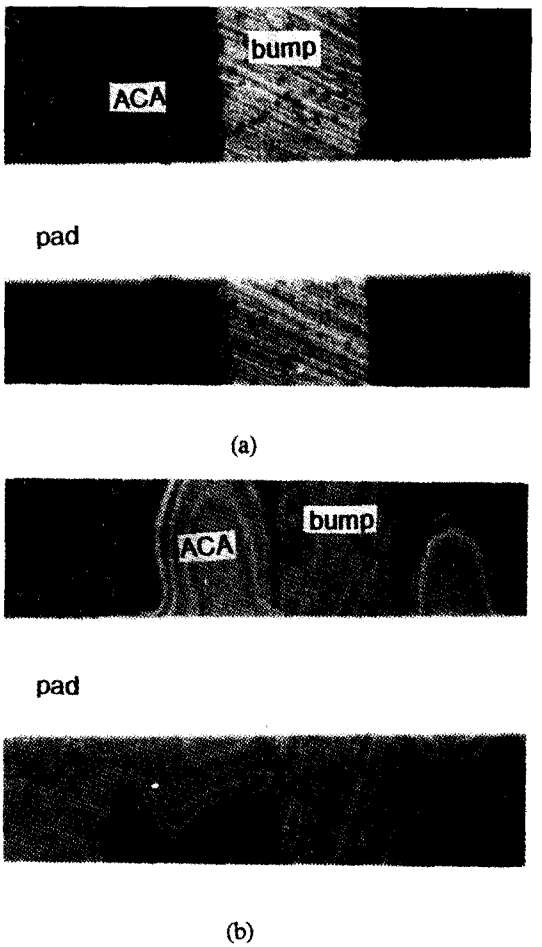

Fig. 7. Photograph of bonding area after aging about 156hrs at 160℃ (a) 5 ㎛ (b) 12 ㎛

커질 뿐만 아니라 이 효과에 의해 ACA의 경화상태도 불안정하게 되어 160 ℃의 고온에서 ACA 및 주변 경화수지가 팽창 및 리플로우, 도전입자의 경화상태가 심하게 변화하여 접촉저항이 증가하고 시간에 따라 그 변화는 점차 커지게 되어 접촉저항이 매우 증가하였으나, 입자크기가 작아질수록, 특히 5 ㎛인 경우 접촉상태가 양호하여 접촉저항이 작아지고 그림자 효과 영향이 상대적으로 적었기 때문에 경화상태가 양호하여 고온하에서 장시간 유지하더라도 ACA의 유동이 상대적으로 작아 접촉상태도 계속 안정한 상태를 유지, 접촉저항의 변화가 거의 없었던 것을 알 수 있다.

입자크기에 따른 접촉저항의 변화를 고온하에서 유지한 시간대별로 Fig. 8에 나타내었는

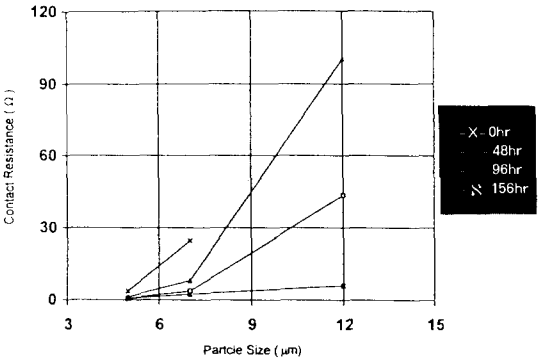

Fig. 8. Variations of the contact resistance with aging time at different particle size(6kg, 160℃)

데, 5 ㎛ ACA의 경우 각 시간대별 접촉저항의 차이는 크지 않으나 12 ㎛ ACA의 경우 시효시간의 경과에 따라 그 차이가 상당히 심하였다. 이는 Fig. 6의 결과와 마찬가지로 입자 크기가 커질수록 초기의 접촉상태 및 경화상태가 그림자 효과에 의해 불안정하기 때문에 상대적으로 덜 경화된 ACA가 160 ℃의 고온에서 팽창 및 리플로우하면서 도전입자가 함께 유동, 접촉상태가 더 불안정해져 접촉저항이 증가한 것으로 보인다.

고온 시효에 따른 접합부의 오픈(open)

칩과 패드를 전기적으로 접촉시킨 접합 상태가 파괴되어 저항이 무한대로 나타나는 현상을 패드의 오픈이라 한다. 본 실험에서는 고온하에서 도전입자들이 ACA 팽창 및 리플로우에 의해 유동되면서 발생하는 패드의 오픈을 관찰하였다. 우선 입자밀도가 다른 ACA를 사용하여 일정 하중하에서 접합후 160 ℃에서 156시간 동안 시편들을 방치한 경우 500, 1000, 2000, 4000 개/mm² 모두 60~70% 수준으로 입자밀도에 따른 차이는 관찰되지 않았다. 그러나 입자크기가 다른 ACA를 사용하여 접합후 160℃에서 156시간 유지한 시편들은 Fig. 9에서와 같이 많은 차이를 보였다. 즉, 입자크기가 5 ㎛인 경우 접합부에서 오픈이 일어나지 않았으나, 입자크기가 7 ㎛인 경우 60%, 입자크기가 12 ㎛인 경우 모든 접합부에서 오픈이 발생하였다. 이는 입자크기가 커질수록 초기의 접촉상태 및 ACA 경화상태가 그림자 효과로 인해 불안정하였고 고온하에서 시간이 경과함에 따라

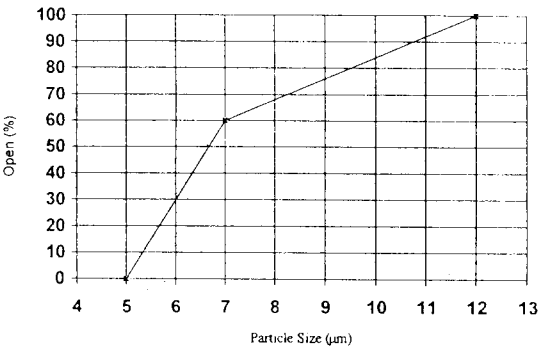

Fig. 9. Opening of ACA COG bonding with particle size during aging at high temperature(6kg, 160℃)

ACA가 팽창 및 리플로우 작용을 하면서 더욱 불안정하여져서 결국 접촉상태가 완전히 파괴된 것으로 보인다. 그러나 입자크기가 작을수록 초기의 경화 및 접촉상태는 상대적으로 안정하고 입자크기가 5 ㎛인 경우 초기 경화 및 접촉상태가 가장 안정하여 고온하에서 장시간 유지하여도 오픈이 일어나지 않았음을 알 수 있다.

4. 결 론

ACA COG를 탑재한 LCD를 실제로 사용할 때에 환경변화에 따른 온도변화 등이 미치는 영향 및 신뢰성을 관찰하기 위한 가속실험으로서 ACA를 사용한 COG 접합 시편을 고온에서 장시간 유지하였을 때에도 접촉저항을 초기상태로 유지할 수 있는 최적의 접합 조건을 설정하기 위하여, 도전입자의 밀도, 크기가 다른 ACA를 사용하여 접합한 시편들을 160℃에서 156시간 유지하면서 각 시편들의 접촉저항의 변화를 살펴보았다. 그 결과 입자밀도가 증가할수록 도전경로수가 증가하여 접촉저항의 변화가 감소되었고, 입자크기는 작아질수록 그림자 효과가 적어지면서 상대적으로 안정한 접합상태를 유지하여 접촉저항의 변화가 적었다. 특히, 입자밀도 4000 개/mm², 입자크기 5 ㎛의 ACA를 사용하여 접합한 시편의 경우 시간이 경과하여도 접촉저항은 거의 변하지 않았다. 또한 5 ㎛의 ACA를 사용한 시편은 그림자 효과의 영향을 거의 받지 않아 초기의 접합상태가 안정, 160℃에서 156시간 시효하여도 ACA의 팽창 및 리플로우에 영향을 받지 않았기 때문에 오픈이 발생하지 않았다. 이로써 입자밀도 4000 개/mm², 입자크기 5 ㎛의 ACA를 사용하여 접합한 COG 공정이 최적의 조건이었다.

참 고 문 헌

1. 한정인, 김철수 외 Telecommunication Reviews, IV (3)4 (1994) p24
2. Y.Chikawa, K.Mori, N.Tajima, ISHM '93 proceedings (1993) p343
3. 한정인, 한국재료학회지, Vol. 5, No. 8 (1995) p929
4. J-I Han, S-J Hong, Aisa Display '95 proceedings (1995) p181
5. D.W.Palmer, G.K.Lin, ISHM '93 proceedings (1993) p238
6. C.Massit, G.Nicolas, B.Hepp, J.M.Vignolle, SID'93 Application Digest, (1993) p69
7. M.Fuyama, F.Nakano, T.Soga, M.Morijiri, M.Funyuu and I.Nunokawa, 眞空, Vol.30, No.6 (1987) p555
8. M.Siato, M.Mori, H.Saita, Toshiba Review, Vol.45, No.5 (1990) p435
9. T.Tamura, I.Kobayashi, M.Uno, K.Adachi, M.Takeda, S.Hotta, Y.Bessho, S. Nakamura, Proceedings of the SID, Vol.32, No.4 (1991) p289