

RFID tag의 제작 공정에서 비등방 전도성 접착제를 사용한 flip chip bonding 조건의 영향 (Influence of Flip Chip Bonding Conditions Using Anisotropic Conductive Adhesive (ACA) in the Fabrication of RFID Tag)

이준식, 김정한, 김목순*, 이종현

한국생산기술연구원 정밀접합팀-마이크로조이닝센터, 인하대학교 신소재공학과*

ABSTRACT

본 연구에서는 Ag anisotropic conductive adhesive(ACA)의 종류, 경화 조건 및 안테나 패턴의 재질에 따른 flip chip bonding된 RFID die의 접합부 신뢰성이 조사되었다. 접합강도 측정에 의하여 접합강도가 최적화되는 공정 시간을 결정할 수 있었으며, 그러한 최적의 공정조건에서는 paste-type Ag ink로 인쇄된 안테나 상에서의 RFID die의 접합강도가 Cu 재질 안테나에 비해 상대적으로 높게 측정됨을 알 수 있었다. RFID tag의 인식거리 측정 시험을 통하여 적절한 경화 조건이 적용된다면 안테나의 재질이 인식거리 변화에 가장 주요한 영향을 미치는 인자임을 알 수 있었다. 아울러 Cu 안테나 패턴은 RFID die의 접합 과정에서 곡률을 가지며 휘어지면서 인식거리와 관련된 long-term reliability를 악화시킬 수 있음을 관찰할 수 있었다.

1. 서 론

1940년대에 군사적인 목적으로 사용되기 시작한 radio frequency identification (RFID) 기술은 최근 급격히 향상된 가격 경쟁력을 기반으로 가까운 미래에 우리 생활의 전반에 걸쳐 광범위하게 적용될 것으로 기대되고 있다[1,2]. 이러한 가격 경쟁력의 향상 기반은 고속 및 대량 생산 기술의 적용에 의해 얻어지게 되었는데, roll-to-roll 또는 reel-to-reel (R2R) 생산 공정이 대표적인 예이다[3]. Tag의 제작 공정에서 R2R 공정은 안테나 패턴의 인쇄 외에도 chip bonding, converting 등의 공정 등에서 계속적으로 적용되어야 하는데, chip bonding 공정을 R2R 공정으로 이행하기 위해서는 anisotropic conductive adhesive (ACA) 또는 isotropic conductive adhesive(ICA)와 같은 열경화성 접착제를 사용하는 것이 일반적이다[3].

최근의 RFID tag 제조 산업은 고속 경화 특성을 가지는 접착 소재의 적용을 요청하고 있다. 이는 R2R과 같은 고속 제조 공정에서는 chip bonding 공정 시간의 단축이 RFID tag의 제조 단가 감소에 직접적인 영향을 미치기 때문이다[4]. 이에 따라 ACA의 종류에 따른 RFID tag의 최적 공정 조건을 결정하기 위해서는 chip

bonding 공정에서 경화 조건에 따른 접합부의 신뢰성 및 tag의 성능 특성 변화가 조사되어야 한다.

한편 안테나 패턴의 형성 공정도 기존의 Cu film의 etching 방법으로부터 paste-type Ag ink 또는 nano Ag ink로의 전환이 급속히 이루어지고 있다. 이러한 Ag ink로 인쇄된 안테나 패턴은 전기 저항 및 표면 요철 특성 등에서 기존의 Cu 재질과는 매우 다른 특성을 나타내게 된다. 따라서 본 연구에서는 안테나 재질 및 ACP의 경화 조건에 따른 접합부의 전단강도 및 tag의 인식거리 변화 등이 조사되었다.

2. 실험 과정

2.1 사용 부품 및 소재

본 연구에서 사용된 RFID chip(또는 die)은 Texas Instrument사에서 제조한 것으로, 그 치수는 865x 780x140mm였으며, 20um 두께의 Au 범프(bump)를 4개 포함하고 있다. 안테나 패턴은 polyethylene telephthalate(PET) film 상에 형성되었으며, Cu와 paste-type Ag ink의 두 종류의 소재로 제작되었다.

표 1은 본 연구에서 사용된 ACP-1과 ACP-2

의 특성을 보여준다. 각 제품의 technical date를 기준으로 볼 때, ACP-1은 150~210°C에서 6~10초의 경화 시간을, ACP 2는 180°C에서 2~5초의 경화 시간을 요구한다. 또한 ACP-1은 약 3 μ m 크기의 구형 Ag filler를, ACP-2는 약 3 μ m 크기의 구형 Au/Ni coated polymer particle filler를 포함하고 있다.

Table 1. 연구에서 사용된 2종류의 ACP의 특성.

접착제 종류	ACP 1	ACP 2
model	MONOPOX AC163	TAP0604C
점도 (cP)	30,000 at 23°C	25 Pa·s at 25°C
Filler 성분	Ag particle (dia.=approx. 3 μ m)	Au/Ni coated polymer particle (dia.=3 μ m)
가열경화시간	6~10sec at 150~210°C	15~20sec at 150°C, 2~5sec at 180°C
압착 압력	40~110g/bump	30~120gf/100mbump
Tg(°C)	135	110
Storage life	2 weeks at R.T.	1 week at R.T.
Young's modulus (Gpa)	3.3	3.0 at 25°C

2.2 접합 공정

Chip의 bonding 공정은 다음과 같았다. Flip chip bonder(model: A4V PICO-full automatic version, Finetech, Germany)를 사용하여 안테나 패턴 위 pad들과 pick-up된 RFID chip의 bump들을 상호 정렬한 다음, 안테나 패턴 위 4개의 pad들을 ACA로 한꺼번에 도포하기 위하여 ACA를 dispenser를 사용하여 glob-top 형태로 한번에 도포하였다. 이후 pick-up된 RFID chip은 곧바로 안테나 패턴 위 pad들과 열간 압착되었다. 이때 안테나 패턴을 받치고 있는 bottom plate의 초기 온도는 120°C, chip을 압착시키는 thermode의 초기 온도는 150°C로 각각 설정하였으며, 공정 중 최대 온도는 bottom plate의 경우 150°C, thermode의 경우 180°C로 각각 설정하였다. 또한 bonding 시간은 5~15sec으로 변화시키며 설정되었다. 설정 가열시간에 따른 상부 thermode와 하부 plate의 측정 온도 변화는 그림 1과 같았다. Chip bonding 동안의 적용 압력은 10N로 충분히 크게 설정하였다. 이상의 bonding 공정은 batch process로 진행되었다.

2.3 전단강도 측정

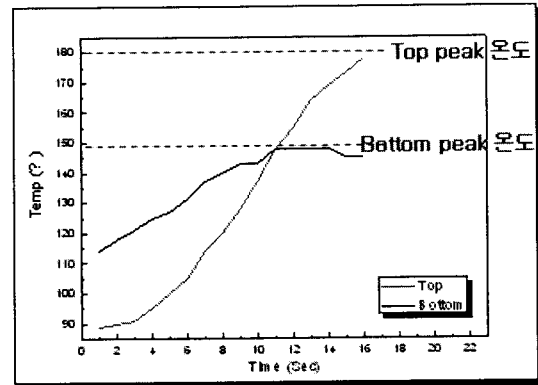


Fig. 1. 초기 설정된 RFID die의 bonding condition과 가열 시간에 따른 온도 profile들.

접합 공정조건에 따른 bonding된 chip의 기계적 신뢰성을 관찰하기 위하여 전단시험기(model: Dage-4000, Dage, U.S.)를 사용한 접합 강도가 측정되었다. 전단속도는 167 μ m/s였으며, 전단 tool의 tip은 바닥에서부터 50 μ m를 떨어뜨린 후 전단 시험을 실시하였다. 안테나의 재질 및 접합시간 조건마다 10개의 전단 시험이 실시되어, 평균 전단 강도값이 계산되었다.

2.3 Tag의 인식거리 변화 측정

안테나 패턴의 재질, 접합 공정조건 및 상온 시효(aging)에 따른 tag의 성능 변화를 측정하기 위하여 무반사 chamber 내에서 tag의 인식거리 변화가 측정되었다. 인식거리의 변화는 tag를 부착시킨 stand를 reader기로부터 직선거리로 간격을 늘려가며 측정하였으며, 매 간격은 10mm였다.

3. 결과 및 논의

같은 ACA일 경우, heating rate가 클수록 main 흡열 피크의 생성 온도가 증가하고, 그 흡열량이 커지는 경향을 보여주었다. 또한 동일한 heating rate에서 ACP-2가 ACP-1에 비하여 흡열 피크의 생성 온도가 낮아지고, 흡열량이 감소하여 보다 빠른 시간에 경화가 가능한 특성을 나타내었다.

표 2는 ACP-1의 적용 시 안테나의 재질 및 공정시간에 따른 전단 강도값 및 파면의 변화를 요약하여 나타낸다. 안테나의 재질에 상관없이 특정한 공정 시간에서 가장 높은 전단 강도값을

나타내었다. 최적 공정시간에 미치지 못할 경우 경화 부족으로 인한 ACP 자체의 내부 파괴 또는 ACP의 접착력 감소 효과가 관찰되었다. 또한 최적 공정시간을 초과할 경우 ACP, 안테나 패턴, 그리고 PET web이 degradation되면서 전단 강도값이 감소함이 관찰되었는데, 특히 paste type Ag ink로 제조된 안테나의 경우 열에 의한 degradation이 발생하면서 안테나 패턴과 PET web 사이에서의 파단이 증가하여 전단 강도값이 급감하는 경향을 나타내었다. 최적 공정조건 부근에서는 Ag ink로 인쇄된 안테나 패턴은 Cu 재질보다 우수한 chip의 접합 강도를 나타내었는데, Cu 안테나 사용 조건에서 대표 파면이 ACP/안테나의 계면 박리로 관찰되어 이는 Ag ink 안테나의 표면 요철의 증가 등으로 인한 ACP와의 접합력 향상에 기인한 것으로 분석되었다. 또한 Ag ink 안테나 사용 시 가장 대표적인 파면은 안테나 pattern의 delamination이었으므로, 안테나 패턴과 PET web과의 접합강도 향상을 위한 대안이 요구된다.

Table 2. ACP-1 적용 시 안테나 재질 및 경화조건에 따른 전단강도 변화.

패턴 재료	Cu foil		
가열시간 (sec)	5	10	15
접합강도 (gf)	591	1602	1308
분석결과	경화 부족으로 인한 자체 파괴 및 접착력 부족	최적 공정조건 부근 (모든 종류의 파면 다 관찰됨)	ACP의 열화에 의한 접착력 감소
패턴 재료	Paste Type Ag Ink		
가열시간 (sec)	5	10	15
접합강도 (gf)	497	1810	1158
분석결과	경화 부족으로 인한 접착력 부족	최적 공정조건 부근	PET film의 열화에 의한 안테나 패턴의 접착력 감소

표 3은 ACP 및 안테나 재질, 경화시간 및 상온 시효시간에 따른 RFID tag의 인식거리 변화를 요약하여 나타낸다. ACP의 종류 및 안테나 재질에 관계없이 10sec 이상의 경화시간부터 안정된 인식거리를 나타내었으나, 대체적으로 Cu 안테나가 Ag ink 안테나에 비해 다소 긴 인식거리를 나타내는 결과를 보여주었다. 따라서 적절한 경화시간이 적용된 상황에서는 ACP의 경화시간보다는 안테나 패턴이 tag의 인식거리 변화

에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

한편 ACP-1과 Cu 안테나를 사용한 경우에서는 시효 시간이 증가함에 따라 인식거리가 감소하는 현상이 관찰되었다. 이러한 현상의 원인은 그림 2의 접합부 이미지로부터 추정될 수 있다. 그림 2의 (a)와 (c)는 Ag ink antenna, (b)와 (d)는 Cu antenna를 사용한 경우인데, Ag ink antenna의 두께는 Cu antenna의 약 1/4 수준이었다. 사진에서 비교되듯이, filler의 재질에 관계없이 Cu 안테나의 접합부는 Ag ink 안테나 접합부에 비하여 큰 반경을 가지는 곡률을 이루면서 굽어져(bend) 있음이 관찰되어 국부적으로 큰 변형이 발생한 Ag ink 안테나의 사용 조건과는 접합부의 형태가 크게 차이남을 알 수 있었다. 즉, chip bonding 동안의 열간압착 process는 fillers를 변형시키는 한편, fillers를 지지하는 안테나 패턴도 변형시킬 수 있는데, 이때 두께가 두꺼운 Cu 재질의 안테나 패턴은 전체적으로 균일한 굽힘 변형을 나타내었으나, 두께가 얇은 Ag ink 안테나는 Au bump의 형태를 따라 국부적으로 변형되는 결과를 나타내었다. 이후 상온 시효 동안 Ag ink 안테나 접합부는 상대적으로 안정한 구조를 나타낸다고 할 수 있으나, bended Cu 안테나는 곡률 효과에 의하여 다시 평평하게 퍼지는 방향으로 지속적으로 스트레스를 받게 된다. 결론적으로 이러한 효과는 도전성 fillers의 접촉 면적을 감소시킴으로써 시효 시간에 따라 인식거리가 감소하는 원인으로 작용하는 것으로 분석되었다. 같은 Cu 안테나를 사용한 경우에도 polymer filler보다 Ag filler를 사용한 조건에서 그 bending 현상이 보다 크게 관찰되었는데, 이는 polymer filler가 Ag filler에 비하여 탄성 회복 특성을 나타내기 때문으로 분석되었다. 그 이외의 조건에서는 1달간의 시효 기간 동안 인식거리의 degradation은 관찰되지 않았다. 따라서 상온 시효 측면에서 Ag ink 재질의 안테나를 사용할 경우 Cu 안테나의 적용 조건에 비하여 다소 우수한 장기 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 기대되며, Cu 재질의 안테나를 사용할 경우에는 Ag filler 보다는 polymer filler가 보다 적합한 interconnection media임을 알 수 있었다.

4. 결 론

RFID chip을 ACP를 사용하여 flip chip bonding을 실시한 결과, 안테나 재질에 상관없이

Table 3. ACP 및 안테나 재질, 경화시간 및 상온 시효시간에 따른 tag의 인식거리 변화(단위: mm).

ACP 종류	No.	거리(Ag)			거리(Cu)		
		As	1Week	1Month	As	1Week	1Month
ACP1 20Sec	1	990	1030	1030	1020	1050	920
	2	1030	1060	1060	1020	1020	940
	3	1060	1090	1060	X	X	X
ACP1 15Sec	1	880	910	890	1100	1090	1080
	2	950	1010	1000	1080	1070	1050
	3	X	X	X	X	X	X
ACP1 10Sec	1	830	860	860	1060	1050	920
	2	1040	1050	1030	1080	1060	940
	3	960	1040	900	X	X	X
ACP2 14Sec	1	890	910	900	1060	1170	1080
	2	940	870	860	X	X	X
	3	880	900	890	X	X	X
ACP2 9Sec	1	990	1030	920	1000	1020	990
	2	1060	1060	1040	X	X	X
	3	1050	1060	1050	1120	1100	1110
ACP3 4Sec	1	910	920	910	1200	1170	1090
	2	820	820	820	1060	1050	1040
	3	950	1070	910	1090	1080	1060

는 도전성 filler들의 접촉면적 감소 때문으로 분석되었다.

참고 문헌

1. M. Ward and R. V. Kranenburg, RFID: Frequency, Standards, Adoption and Innovation, JISC Technology and Standards Watch, May 2006.
2. J. Banks, M. Pachano, L. Thompson, and D. Hanny, RFID Applied, John Wiley and Sons, 2007.
3. M. Fairley, Illustrated RFID Smart Labels, Tarsus Exhibitions and Publishing Ltd., 2005.
4. C.-M. Cheng, V. Buffa, W. O'Hara, B. Xia, and J. Shah, "Low cost , high speed reel-to-reel RFID tag assembly", Global SMT & Packaging, 5(7), August, 2005.

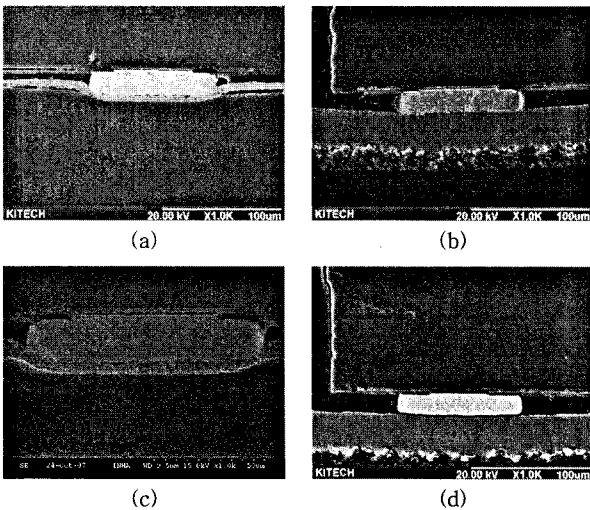


Fig. 2. 안테나 재질 및 ACP (또는 filler) 종류에 따른 접합부의 이미지: (a) Ag ink 안테나 상에 구형 Ag filler, (b) Cu 재질 안테나 상에 구형 Ag filler, (c) Ag ink 안테나 상에 Au/Ni coated polymer filler, (d) Cu 재질 안테나 상에 Au/Ni coated polymer filler.

특정한 공정 시간 부근에서 가장 높은 전단 강도 값을 나타내었으며, ACP-1의 경우는 10sec, ACP-2의 경우는 4~9sec의 경화시간이 적용되는 조건에서 우수한 전단 강도값과 안정된 인식거리를 나타내는 접합부를 형성하는 것으로 분석되었다. 또한 ACP-1과 Cu 안테나를 사용한 경우에는 시효 시간이 증가함에 따라 인식거리가 감소하는 현상이 관찰되었는데, 이는 안테나 패턴의 휨 변형 발생과 이의 회복 과정에서 야기되