

Alloy42 기판 위에 증착된 Ag막의 밀착력에 관한 연구

이철룡, 천희곤, 조동율, 이건환*, 권식철*

울산대학교 재료공학과, *한국기계연구원

A study on the adhesion of Ag film deposited on Alloy42 substrate

C. Y. Lee, H. G. Chun, T. Y. Cho, G. H. Lee*, S. C. Kwon*

Dept. of Materials Science and Engineering, University of Ulsan, Ulsan, 680-749,

*Thin Film Processing Lab., Korea Institute of Machinery and Materials,
Changwon, 66

Abstract

Electroplating of Ag and Au on the functional area of lead frames are required for good bonding ability in IC packaging. As the patterns of the lead frame become finer, development of new deposition technology has been required for solving problems associated with process control for uniform thickness on selected area.

Sputtering was employed to investigate the adhesion between substrate Alloy42 and Ag film as a new candidate process alternative to conventional electroplating. Coating thickness of Ag film was controlled to $3.5\mu\text{m}$ at room temperature as a reference. The deposition of film was optimized to ensure the adhesion by process parameters of substrate heating temperature at $100\sim 300^\circ\text{C}$, sputter etching time at -300V for $10\sim 30\text{min}$, bias voltage of $-100\sim -500\text{V}$, and existence of Cr interlayer film of 500\AA .

The critical load L_c , defined as the minimum load at which initial damage occurs, was the highest up to 29N at bias voltage of -500V by scratch test. AFM surface image and AES depth profile were investigated to analyze the interface. The effect of bias voltage in sputtering was to improve the surface roughness and remove the oxide on Alloy42.

1. 서 론

최근 IC의 고집적화, 고밀도화의 경향 때문에 전기저항이 작고 열전도도가 좋으면서, 고강도의 재료가 리드프레임 소재로 요구되고 있다. 그 중

에서도 Si와 열팽창계수 차이가 작고 높은 강도를 가진 Alloy42가 고가이면서도 리드프레임소재로 널리 사용되고 있다¹⁾.

리드프레임 소재를 가공 후 wire bonding 공정 시, 신뢰성 향상을 위해 높은 접착능력(bonding

ability)이 요구되기 때문에 리드프레임의 기능부 위에 연성, 전성, 전도성이 우수한 Au, Ag로 부분도금을 한다²⁾. 도금 공정시 도금 위치, 도금 두께의 정밀제어가 매우 중요한데, 현재 패키징 기술이 소형화, 다핀화 되어 감에 따라 리드프레임도 리드간 간격이 축소되어 가고 패턴 형태도 미세화 되고 있기 때문에, 종래의 습식 도금 방법으로는 이에 대한 제어가 용이치 않고 환경문제가 대두되면서 폐수처리에 대한 규제가 엄격해져서 많은 비용을 요하게 되었다. 따라서 환경오염에 대한 영향이 없고 정확한 도금위치 제어가 가능한 진공 박막 증착 기술의 개발이 점점 요구되어지고 있다.

리드프레임의 습식도금공정을 진공기술로 대체하고자 할 때 제조단가와 밀착력의 문제로 인해 현재까지는 그렇게 많은 연구가 진행되고 있지 않으며, 발표된 연구논문도 거의 없는 실정이다. 단지, 일본의 리드프레임 생산업체에서 sputtering기술을 이용해 Alloy42 리드프레임에 Au를 증착한 결과, 고속의 우수한 균일도(uniformity)를 가진 박막을 제조³⁾하여 생산성 문제 해결 가능성을 제시하면서 관련 업계에서 많은 관심을 기울이고 있다. 따라서 밀착력 문제만 해결된다면 습식도금공정을 진공기술로 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 스퍼터링을 통해 Ag와 같은 귀금속을 증착할 경우 문제시되는 밀착력에 관해 반응성 중간층(added reactive layer), 오염층(contaminated layer) 및 계면형상(interface morphology)이 밀착력에 미치는 영향을 살펴보고 이 인자들을 제어하여 밀착력을 향상시키고자 하였다.

2. 실험방법

Ag박막을 증착하는데 사용된 스퍼터링 장치는 반응성 RF/DC magnetron sputtering system으로 타겟에는 RF전원이, 기판에는 DC전원을 인가할 수 있는 2개의 타겟이 장착되어진 구조로 한국

기계 연구원에서 제작하였으며, 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

박막의 밀착력 측정은 scratch test(Revestest, CSEM, switzerland)를 사용하였으며, 이 측정 장치는 Rockwell "C" diamond stylus가 시편의 표면 위를 일정한 속도로 이동하면서 하중을 0~40N까지 점차적으로 증가시킬 수 있게 조정하였으며, 이때 박막이 최초로 파괴가 일어나는 지점을 임계하중이라 규정하고 박막과 모재의 밀착강도의 척도로 사용하였다. 이 임계하중은 광학현미경으로 관찰하여 결정하였다.

본 실험에서 기판으로 사용된 시편은 리드프레임 소재로 널리 사용되고 있는 Ni기 Alloy42로서 화학 조성은 Table 1과 같으며 시편의 크기는 10mm(W) × 10mm(L) × 0.2mm(H)로 절단하여 사용하였다.

각 시편은 마이크로 세정제, 아세톤, IPA 순으로 초음파 세척기에서 각 10분 동안 세정을 거친 후 챔버에 장입하였다.

기판에 삽입하는 중간층(intermediate layer)으로 Cr(99.999%)을 50nm 두께로 증착하였으며, 또한 밀착력에 미치는 산화층의 영향을 확인하기 위하여 UV/OzonSe 발생장치를 통해서 기판을 의도적으로 산화시킨 후 Cr을 증착하였다. 그 후 진공상태를 유지하면서 Ag(99.999%)를 Cr층위에 3.5 μm

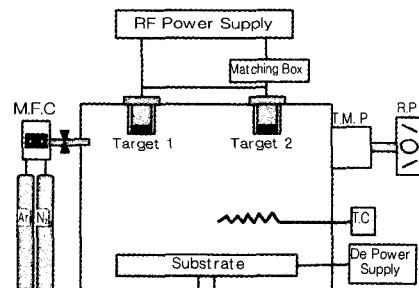


Fig. 1. Schematic diagram of sputtering system

Table 1. Chemical composition of Alloy 42

elements	Ni	Mn	Co	Fe
wt.%	42	08	05	bal.

Table 2. Conditions of deposition

	Initial Pressure	Working Pressure	Depp.Time	Power	Film Thickness
Ag	3×10^{-6} torr	1mtorr	45min	200W	3.5 μ m
Cr	3×10^{-6} torr	1mtorr	3min	200W	50nm

두께로 증착하였다. 온도는 상온, 200 $^{\circ}$ C, 300 $^{\circ}$ C 범위에서 변화시켰으며, 기판을 스퍼터 에칭하기 위해서 기판에 DC bias를 -300V 인가하고 0.03A의 전류가 흐르게 하였다. 에칭시간은 각각 5분, 10분, 30분씩 변화시키면서 증착하였다. 플라즈마를 형성하기 위하여 기판 bias는 저진공 영역(10^{-3} torr)에서 인가하였고 작업압력 100mtorr에서 스퍼터 에칭을 행한 후 Ag막을 증착하였다. 기판에 바이어스 전압을 인가하는 방법으로는 DC bias를 -150V, -300V, -500V로 변화시키면서 증착하였다. Table 2는 Ag와 Cr층의 0증착 조건을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. Cr중간층 삽입에 따른 영향

Fig. 2는 각각의 증착 방법에 따른 밀착력 값의 변화를 나타내고 있다. 이 그림에서 Ag층만을 증착한 시편은 11N, 중간층으로 Cr층을 삽입한 시편은 22N, 기판을 산화시킨 후 Cr을 삽입한 시편은 24N의 밀착력값을 나타내었다. 이는 Ag가 귀금속으로서 주위의 화학적인 분위기에서 안정하고 쉽게 산화하지 않으며, 시편으로 사용된 Ni, Fe에 고용되지 않는 특징을 가지고 있기 때문에 밀착력이 낮게 나온다고 사료되어지며, Cr을 중간층으로 삽입한 경우에는 Cr이 기판 표면의 산화층과 쉽게 반응하여 계면에서 chemical compound layer를 형성하기 때문에 밀착력이 증가된다고 사료된다. 또한, 기판을 UV/오존발생장치를 통해 산화시킨 후 Cr층을 증착한 경우에는 발생된 오존에 의해서 표면에 존재하는 유기물이 제거되기 때

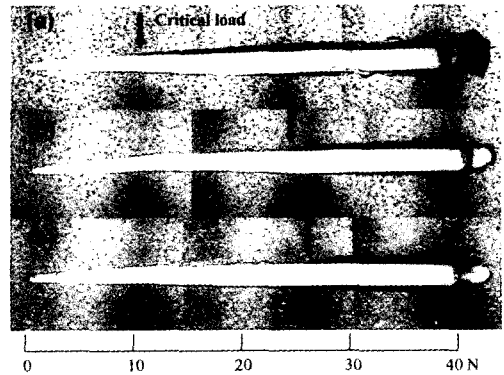


Fig. 2. Optical micrographs of the scratch tracks by effects of Cr intermediate layers.
(a) Ag layer only (b) with Cr layer
(c) with Cr layer on oxide layer

문에 밀착력이 더 증가하는 것으로 사료된다.

3.2. 기판 가열에 따른 영향

일반적으로 기판에 이종의 성분을 증착할 때 하나의 계면이 생성된다. 이 계면은 크게 5가지의 계면 형태로 분류할 수 있는데 보통 두 물질 사이에서 계면이 급격히 바뀌게 되면 단순히 물리흡착(physisorption) 상태가 되어 원자간의 결합력이 약하게 된다. 온도를 가하면 두 물질 사이의 계면이 급격히 바뀌는 것이 아니라 서서히 변화되는 중간층(interfacial layer)이 형성되어, 계면에서 원자크기 차이에 따른 내부응력 발생이 줄어들어 밀착력이 증가된다고 보고되고 있다⁴⁾.

Fig. 3은 기판 가열에 따른 임계하중의 변화를 나타내고 있는 그림으로서, 임계하중 값은 온도 상승에 따라 증가하는 추세를 보이고 있다. 기판 온도 200 $^{\circ}$ C에서는 14N, 300 $^{\circ}$ C에서는 17N의 임계

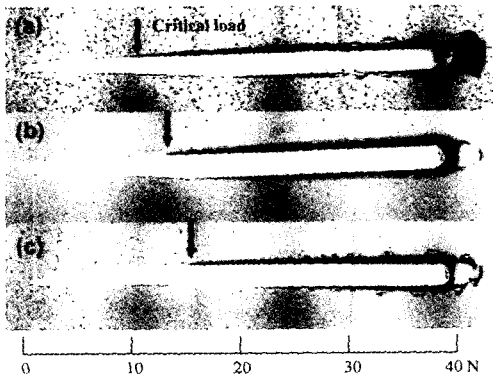


Fig. 3. Optical micrographs of the scratch tracks at various deposition temperatures (a) RT (b) 200°C (c) 300°C

하중에서 막이 분리되기 시작하였다. 이렇게 온도 증가에 따라 밀착력이 증가하는 것은, Ag원자가 증착되는 동안 계면을 통해 안정한 자리로 이동할 수 있는 이동도(mobility)가 커지게 되고, 또한, 온도 증가에 따라 기판이 활성화되기 때문에 기판 표면에 흡착되어 있는 유기물들이 탈착되어 계면 에너지가 증가하게 된다. 증가된 계면 에너지를 낮추기 위해 기판은 증착되는 원자와 결합하려는 경향이 강해져 밀착력이 증가된 것으로 생각된다.

그러나 다른 기판처리 방법에 비해 온도를 가한 경우에는 기대한 것과는 달리 밀착력값의 차이가 크게 나타나지 않았는데, 그 이유는 인가된 온도가 기판원자들을 활성화시켜 기판과 증착층간의 확산층이 형성되기에 충분하지 못한 것으로 사료된다.

3. 3. 스퍼터 에칭시간에 따른 영향

Fig. 4는 기판을 스퍼터 에칭한 후 Ag막을 증착했을 때의 임계하중 변화를 나타낸 것으로, 스퍼터 에칭 시간을 10분, 20분, 30분으로 각각 증가시켰을 때 임계하중 값은 14N, 18N, 25N으로 증가하는 것을 보여주고 있다.

이 실험 결과는 W. D. Bulter⁵⁾, M. Cailler⁶⁾ 등

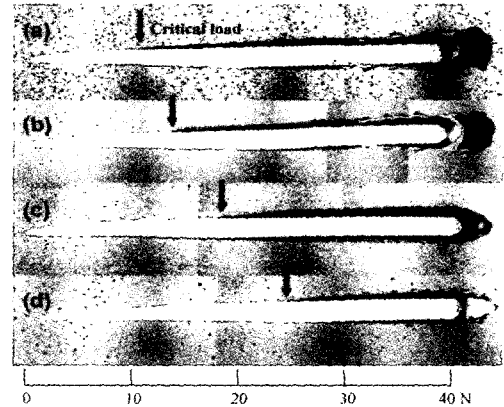


Fig. 4. Optical micrographs of the scratch tracks for various sputter etching times at -300V

이 scratch test법을 이용하여 시편 표면 전 처리의 효과에 대한 밀착성을 연구한 결과와 같은 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 스퍼터 에칭 처리를 하지 않은 시편과 30분 에칭 처리를 한 시편의 표면 형상을 나타낸 AFM 사진이다. 시편에 에칭처리를 하지 않은 경우에는 표면 형상이 smooth한 형태를 나타내고 있지만, 30분간 스퍼터 에칭처리를 하였을 때는 기판에 수십 nm의 미소 거칠기가 형성된 것을 확인할 수 있다. 이런 미소 거칠기가 형성되면서 표면적 증가에 따른 표면에너지 증가를 낮추기 위해서 밀착력이 증가되는 것이라 사료된다. 또한, 일반적으로 막이 기판에서 분리되기 위해서는 막 안에 축적된 응력 에너지가 crack을 발생시키기 위해 충분히 커야되고 평활한 계면을 따라서 crack이 진전되어야 한다.

그런데 crack이 계면을 따라 전파되는 중에 거친 계면을 만나게 되면 에너지 분산에 의해서 crack이 고착되게 되고, 다시 crack이 진전하기 위해서는 초과 에너지가 공급되어야 한다⁷⁾. 따라서 이런 표면에 형성된 거칠기가 crack의 전진을 방해하기 때문에 밀착력이 증가되지 않았나 사료된다.

Fig. 6과 7은 밀착력 증가의 원인을 살펴보고자

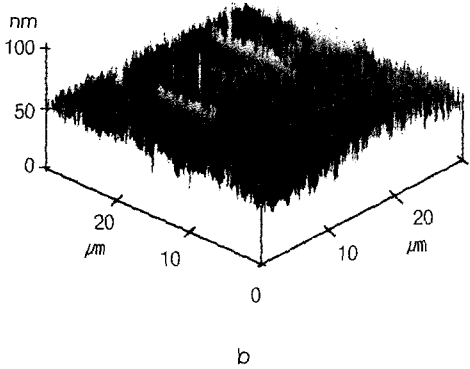
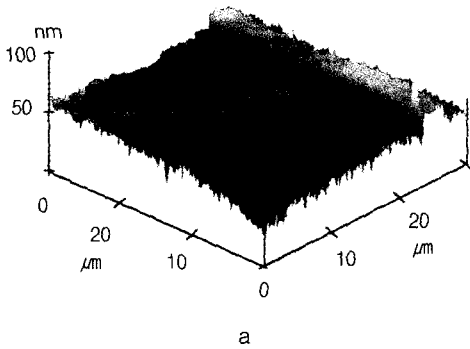


Fig. 5. AFM surface image after sputter etching at -300V (a) not-treated (b) 30min sputter etching

5kV의 Ar 이온빔을 이용하여 표면을 sputtering 시켜가며 측정된 Auger depth profile 결과를 나타낸 그림이다.

Fig. 6은 기판처리를 하지 않은 Ag층만을 200nm 두께로 증착한 경우이고, Fig. 7은 30분간 스퍼터 에칭을 한 후의 계면을 보여주는 그림이다. 기판 스퍼터 에칭 처리를 하였을 때 계면에 존재하는 산화층의 양이 상당히 감소함을 확인할 수 있는 것으로 보아 스퍼터 에칭처리를 하는 중에 표면에 존재하는 다른 오염층(contaminated layers)들도 제거되는 것으로 사료된다.

3. 4. 기판 바이어스인가에 따른 영향

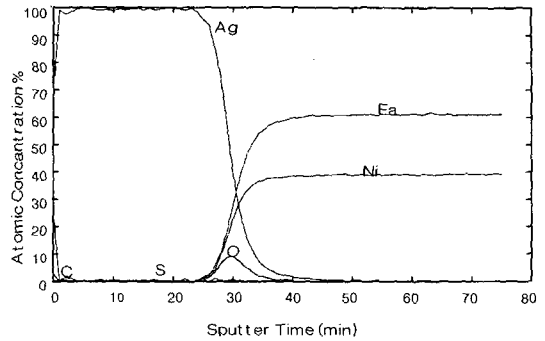


Fig. 6. AES depth profile of Ag film deposited on Alloy42 as a reference.

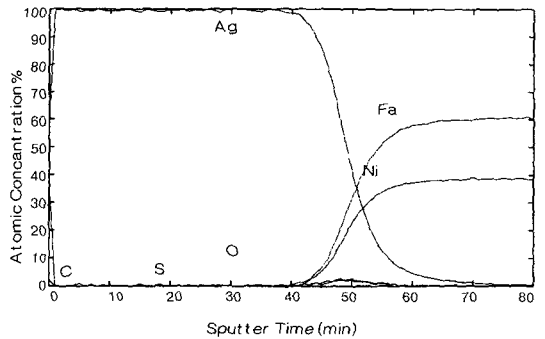


Fig. 7. AES depth profile of Ag film with sputter etching for 30min at -300V

Fig. 8은 기판바이어스 인가에 따른 입계하중의 변화를 나타내고 있다. 바이어스를 인가하지 않은 경우 12.5N의 입계하중을 보이다가 바이어스 전압 -150V에서 18N, -300V에서 26N, -500V에서는 29N의 인가하중에서 박리가 시작됨을 알 수 있었다.

일반적으로 바이어스 전압이 증가될수록 스퍼터 되어 나오는 이온화된 원자가 정전기적인 인력에 의해서 가속되기 때문에 기판에 증착될 때 자신이 가진 운동에너지를 열로 교환하게 된다. 이때 기판은 이 열에너지에 의해서 가열되고 온도를 가하는 효과가 나타나 증착원자는 보다 큰 이동도를 가지고 계면을 따라 안정한 원자자리로 이동하게 된다. 또한, 이온화된 원자는 기판에 증착될 때 ion

bombardment에 의해 기판을 스퍼터 에칭하는 효과가 나타나 약하게 결합되어 있는 원자를 기판에서 떼어내게 된다. 따라서 스퍼터 된 기판 원자는 증착원자와 섞여 재 증착되는 intermixing효과로 인해 막과 기판사이에 결합력이 증대된다고 보고되고 있다⁸⁾.

Fig. 9는 기판 바이어스 인가에 따른 intermixing 효과를 확인하기 위해 계면의 Auger depth profile을 한 결과로서, Fe와 Ni 원자가 Ag 막 속에 혼입되어 있는 것을 볼 수 있다. 또한, 계면에 존재하는 산소의 양이 감소된 것을 확인할 수 있

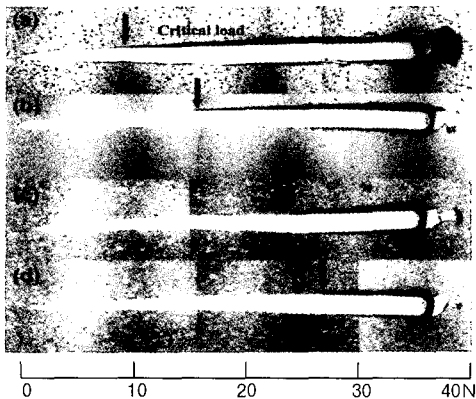


Fig. 8. Optical micrographs of the scratch tracks at various substrate bias voltage
(a) not-treated (b) -150V
(c) -300V (d) -500V

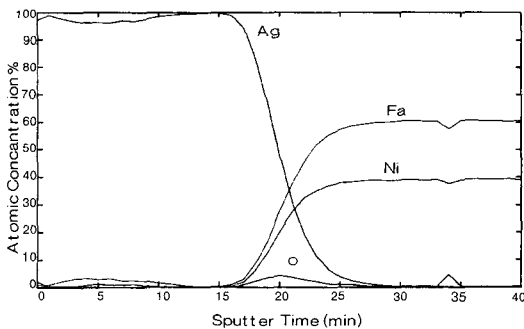


Fig. 9. AES depth profile of Ag film with bias voltage of -300V

는데, 이것은 스퍼터 에칭에 의한 오염 층 제거 효과로 사료된다.

4. 결 론

리드프레임 습식도금 공정을 스퍼터링 방법으로 대체시 문제가 되는 밀착력을 향상시키는 방법과 밀착력에 영향을 미치는 인자들을 살펴보고자 한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Alloy42 기판 상에 어떠한 기판처리도 거치지 않고 Ag막을 증착한 경우 임계하중값은 11N을 나타내었는데 비해, Cr interlayer coating을 함으로서 22N까지 증가시킬 수 있었으며, 기판에 UV/오존처리를 한 후 Cr interlayer coating한 경우 24N의 임계하중값을 얻을 수 있었다. UV/오존처리를 한 경우에는 산화층의 두께가 증가하였는데도 임계하중값이 증가한 것으로 보아 기판에 존재하는 산화층보다 오염층이 더 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

2) 기판을 가열한 경우 200℃에서 14N, 300℃에서 17N의 임계하중값을 얻을 수 있었는데, 기판을 가열한 경우 다른 기판 처리 방법에 비해 커다란 밀착력의 증가를 보이지 않았다.

3) 기판을 스퍼터 에칭한 경우, 에칭시간이 10, 20, 30분으로 증가함에 따라 임계하중값은 14N, 18N, 25N으로 증가하였다. 에칭시간이 증가할수록 표면 거칠기가 증가하였는데 이것이 밀착력에 커다란 영향을 미치는 것으로 생각된다.

4) 기판에 바이어스 전압을 인가하면서 Ag막을 증착한 경우, 인가전압이 -150V, -300V, -500V로 증가함에 따라 임계하중값은 18N, 26N, 29N으로 증가하였다. 기판에 바이어스를 인가한 경우에 에칭효과와 기판과 증착층간의 intermixing 효과를 동시에 얻을 수 있어 밀착력을 크게 증대시킬 수 있었다.

참고문헌

1. A. A. Khan (Olin Corp.) "Comparison of Alloys for use in Leadframes" Nepcon East. June 17-19. 1980.
2. 김인달, 임달근: 대한 금속학회 회보, 12 (1988)
3. Echigo. T, Yamauchi. S, Miyazaki. K, and Minagawa. N "Study on High Speed Partial Plating for Lead Frame" Fukuiken Kogyo Gijustu Kenkyu Hokoku (Rep. Fukui Prefect. Ceram. Ind. Lab.) (3), 198-207 1986
4. B. N. Chapman, J. Vac. Sci. Technol., 11 (1974) 106.
5. D. W. Bulter, C. T. H. Stoddart and P. R. Stuard : J. Physics, Vol. 3, (1970) 877-883
6. G. H. Lee and M. Cailler, The 3rd Asian Surface Finishing Forum, Sep. 25-27 (1989), Seoul Korea, 309-316
7. Lieng-Huang Lee (Ed), "Fundamentals of Adhesion", Chap.11
8. R. J. Good in K. L. Mittal (Ed.), "Adhesion measurement of thin films, thick films"