

# 광반응 폴리이미드위에 RF bias sputtering 방식으로 증착된 Cr의 접착력에 관한 연구

김선영, 김영호, 윤종승  
한양대학교 재료공학과

## Abstract

The adhesion enhancement from inserting a RF bias-sputtered Cr layer between Cu and polyimide (PI) has been studied. The RF bias power applied in this study was ranged from 0 to 400 W. Without the RF bias, the peel strength, which measures the adhesion strength, was nearly 0 g/mm. As the RF power was increased, the peel strength rose up to ~130 g/mm at 200 W, which remained constant with further increase of the RF bias power. Cross-sectional transmission electron microscopy(TEM) was used to investigate the interfacial reaction between the Cr film and PI substrate during the bias sputtering. The Cr/PI interface without the application of RF bias showed a clean, sharp interface while the RF biased Cr/PI interface had about 10~30 nm thick atomistically mixed interlayer between the metal film and PI substrate. This interlayer appeared to have resulted from the implantation of high energy adatoms during the RF bias sputtering of Cr film. This mixed layer serves as an interlocking layer, which enhances adhesion between the metal and PI layers.

## 1. Introduction

폴리이미드는 낮은 저유전 상수 물질로서 높은 열적 안정성, 기계적 강도, 화학적 저항성을 가지고 있기 때문에 MCM(multi chip module) 소자의 저유전 상수물질로서, IC chip에서의 passivation layers로 이용되어 왔고, 최근 wafer level packaging에서 응용되고 있다.[1,2] 이러한 응용에 있어서 배선 재료로는 구리를 많이 사용하는데, 폴리이미드와 구리사이의 접착력이 매우 낮다.[3] 구리 박막과 폴리이미드 사이의 접착력을 증가시키기 위해 Cr, Ta, Ti, Al등의 접착층을 사용하였는데, 금속 박막의 증착전에 폴리이미드를 RF plasma를 이용하여 전 처리한 후 접착층을 증착하여 접착력을 향상시키기도 하였다. 최근 Ag를 DC bias sputtering 방식으로 polyester 위에 증착한 결과 접착력이 증가되었다는 연구결과도 보고되었다.[4]

본 연구에서는 RF bias 가 DC bias보다 절연기판에 좀더 효과적이므로 RF bias를 이용하여 접착층을 증착하였고, RF bias가 접착력에 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. Experimental

본 연구에서 사용된 폴리이미드는 Toray사의 BG2480으로서 precursor형태로 되어있다. wafer 위에 스피ن(spin) 피복한 후 60℃의 건조 오븐에서 50분간 소프트 베이킹하여 solvent를 제거한 후 관로를 이용하여 350℃의 온도로 질소분위기에서 큐어링하였다. 이렇게 하여 최종적으로 형성된 폴리이미드의 두께는 6 $\mu$ m이었다. 완전히 큐어링된 폴리이미드 위에 RF plasma 전처리 없이

접착층인 Cr박막을 DC magnetron-sputtering system을 이용하여 증착하였다. 이때 기판 쪽에 가해지는 RF bias power를 0-400 W로 변화시켰으며, 최종적으로 접착층의 두께는 50 nm 이었다. 접착층을 증착한 후 진공을 깨지 않고 Cu 층을 DC sputtering 방식으로 500 nm 증착시켰다. 접착력 측정을 위한 시편은 폴리이미드 위에 3 cm×2 mm 크기의 금속마스크를 사용하여 필 테스트용 패턴을 형성하였고, 인장시의 충분한 강도를 위해 전해도금방법으로 CuSO<sub>4</sub> solution을 이용하여 Cu를 20 μm 증착하였다.

본 연구에서 접착력 측정방법으로는 90° 필 테스트 방법을 이용하였다. 마찰력에 의한 접착력의 영향을 배제하기 위해 필링(peeling)시 기판 지지대가 수평으로 미끄러지도록 도르래와 추를 사용하였으며 금속박막을 위쪽의 그립(grip)에 물려 2 mm/min 의 일정한 인장 속도로 잡아당겨 그 하중을 읽은 후 시편의 넓이로 나누어 필 접착강도를 측정하였다.

가속전압이 200 keV인 투과전자 현미경(JEOL 2010)을 이용하여 폴리이미드와 금속박막의 계면을 관찰하였으며, RF bias power에 따른 계면의 변화를 규명하였다.

### 3. Results and Discussion

#### A. 폴리이미드와 금속박막 사이의 접착력

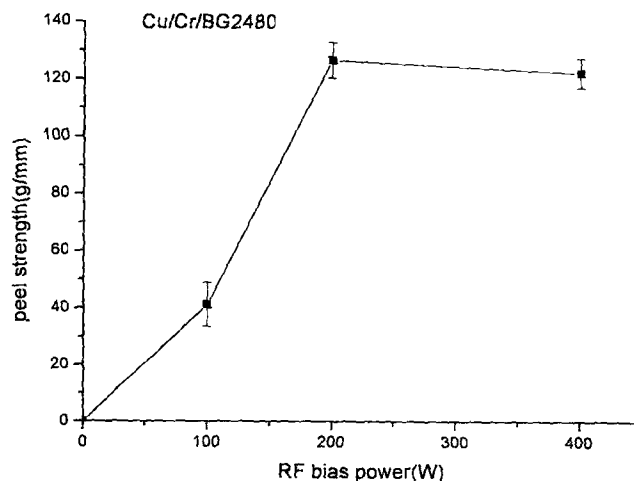


그림 1. RF Bias power에 따른 Cu/Cr과 폴리이미드 사이의 필 접착력

접착층인 Cr 층을 증착하는 동안 기판에 가해지는 RF bias power에 따른 Cu/Cr 박막과 폴리이미드 사이의 접착력은 그림 1과 같다. Cr 층 증착시 RF bias 를 기판에 가하지 않았을 때, 즉 DC sputtering 방식으로만 증착하였을 경우 그림 1에서 보는 바와 같이 접착력은 거의 0 g/mm 로 매우 낮다. 하지만 RF bias sputtering 방식으로 증착하였을 경우, power가 100 W일 경우에 접착력은 증가하였고, 그 이상의 RF bias power로 증착하였을 경우 접착력은 계속 증가하여 200 W, 400 W에서는 거의 130 g/mm정도의 높은 접착력을 보였다. 하지만 그 이상의 power가 가해져도 접착력은 증가하지 않았다.

RF bias power가 200 W 이상일 경우 RF bias sputtering 방식으로 접착층을 증착시킨 경우는 RF plasma 전처리를 한 경우보다 더 큰 peel 접착력을 보였다. 즉 RF bias sputtering 방법은 폴리이미드와 Cr 사이의 접착력을 증가시키는데 있어서 매우 효과적이 방법임을 알 수 있다. 접착층을 Ta, Al, Ti로 하여 RF bias sputtering하여 증착시킨 후 접착력을 증착시킨 실험결과가 있는데, 이 경우에 있어서도 RF bias power가 증가할수록 접착력은 증가를 하는 비슷한 결과를 보였다.[5,6]

### B. 폴리이미드와 금속박막의 계면 분석(TEM)

Cr과 폴리이미드 사이의 접착력은 두 층사이의 계면의 미세구조와 깊은 관련이 있으므로 Cr과 폴리이미드 사이의 계면을 단면 TEM 방법을 이용하여 관찰하였다.[7] 그림 2는 Cr 박막을 폴리이미드 위에 DC sputtering 방법으로 증착한 박막의 단면 TEM 사진이다. 그림 2(a)의 명시야상에서 볼 수 있듯이, Cr grain은 주상정으로 자란 것을 확인할 수 있고, Cr과 폴리이미드 사이의 계면을 flat한 것을 확인할 수 있다. 그림 2(b)의 암시야상을 보아도, Cr과 폴리이미드 사이의 reaction interlayer는 발견되지 않았다. Cr 과 폴리이미드 사이에 reaction interlayer가 발견되지 않은 결과는 DC sputtering한 다른 결과와 비슷한 결과이다.[8]

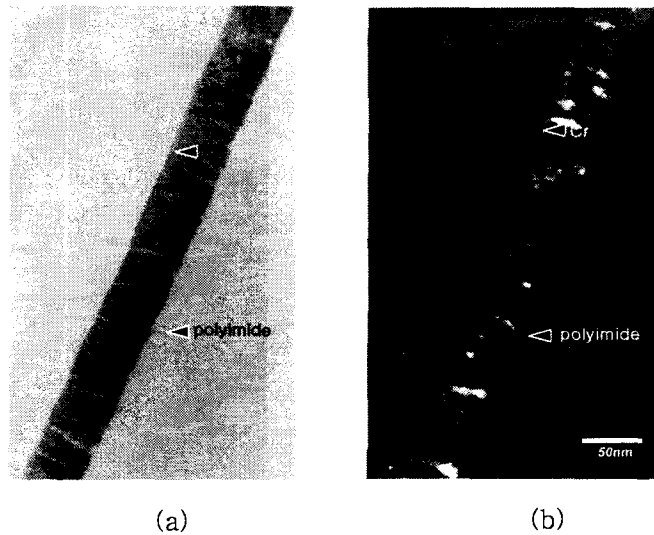


그림 2. DC sputtered Cr/BG2480 단면 TEM (a) 명시야상 (b) 암시야상

그림 3은 Cr층을 폴리이미드 위에 증착할 때 기판에 RF bias power를 100 W로 가했을 경우의 Cr과 폴리이미드 사이의 계면을 관찰한 것이다. 그림 3에서 보듯이, Cr과 폴리이미드 사이의 계면은 그림 2와 달리 약간은 울퉁불퉁한 것을 볼 수 있고, 여기서 확인되는 Cr층과 폴리이미드 층의 mixed layer의 두께는 약 5 nm 정도인 것으로 관찰된다.

그림 4와 5는 Cr 증착시 기판에 가해지는 RF bias power가 각각 200 W, 400 W일 경우의 Cr과 폴리이미드 사이의 계면을 단면 TEM으로 관찰한 이미지이다. 그림 4와 5를 관찰해보면 Cr과 폴

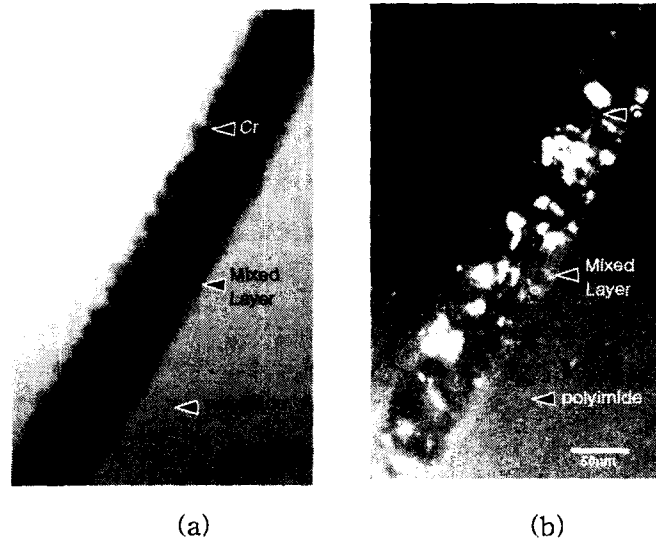


그림3. Bias sputtered Cr(100W)/PI의 단면 TEM (a) 명시야상 (b) 암시야상

리이미드의 계면의 폴리이미드 부분에, 두 층이 섞인 interlayer를 발견할 수 있는데, 이때의 mixed layer는 약 15 ~ 30 nm 정도로, 기판에 가해지는 RF bias power가 100W일 경우의 mixed layer 보다 더 두꺼운 것을 확인할 수 있다.

RF bias sputtering은 DC sputtering 동안 기판에 RF bias를 가하는 방식으로서 target에서 떨어져 나간 adatom들이 기판으로 가속되는 효과가 발생하게 된다. 가속된 adatom들은 기판에 implant됨으로서 폴리이미드 기판과 Cr 층 사이에 조성적으로 mixed layer를 형성시킨다. Mixed layer로 인하여 두 층간의 interlocking이 이루어지므로 Cr 층은 폴리이미드 기판에 강하게 고착된다. 따라서 높은 접착력을 나타낸다. 이렇게 형성된 mixed layer는 기판에 가해지는 RF bias power가 증가할수록 두꺼워지는데, 이 mixed layer의 두께가 크다고 해서 항상 접착력이 증가하는 것은 아니다. 대부분의 경우 필 테스트를 할 때 peeling이 일어나는 locus는 폴리이미드와 금속 사이의 interfacial failure이다. 하지만 기판에 RF bias power 200 W, 400 W를 가하면, mixed layer가 두껍게 형성되고, mixed layer로 인하여 Cr 층은 폴리이미드 층에 강하게 고착된다. 따라서 peeling시의 locus of failure는 계면에서 일어나는 것이 아니라, 폴리이미드내부에서 일어난다.[8,11] 따라서, RF bias 200 W의 경우가 RF bias 400 W일 때보다도 mixed layer의 두께가 더 크다고 할지라도, 두 경우 모두 폴리이미드 내부의 cohesive failure를 일으키므로 접착력 차이는 거의 없다.

폴리이미드 기판에 RF bias를 가함으로서 sputtering시 가속된 adatom들은 폴리이미드 안으로 implantation하게 되는데, 이러한 bias sputtering의 implantation효과로 인하여 형성된 Cr층과 폴리이미드사이의 mixed layer가 형성된다. Mixed layer로 인하여 Cr 층은 폴리이미드에 강하게 고착하므로, peeling시 파괴는 두 층 사이에서 일어나는 interfacial failure가 아니라, 폴리이미드 내부에서 일어나는 cohesive failure가 되므로 필 접착력은 매우 높게 나타난다.

그림 3(b), 4(b), 5(b)의 암시야상들을 살펴보면, 기판에 가해지는 RF bias power가 증가할수록

Cr grain의 미세 구조도 변화였다. 기판에 가해지는 RF bias power가 100 W일 경우(그림 4(b)), Cr 층은 거의 등축정인 것을 확인할 수 있는 반면에, 200 W일 경우 Cr grain은 등축정과 주상정의 중간 정도인 것을 관찰할 수 있었다. 그리고 기판에 가해지는 RF bias power가 400 W일 경우에는, 그림 5(b)에서 보는 바와 같이 거의 완벽한 주상정 형태인 것을 알 수 있다. 따라서 기판에 가해지는 RF bias는 Cr과 폴리이미드 사이의 접착력에도 영향을 줄뿐만 아니라, Cr의 미세 구조에도 역시 영향을 줄 수 있었다.

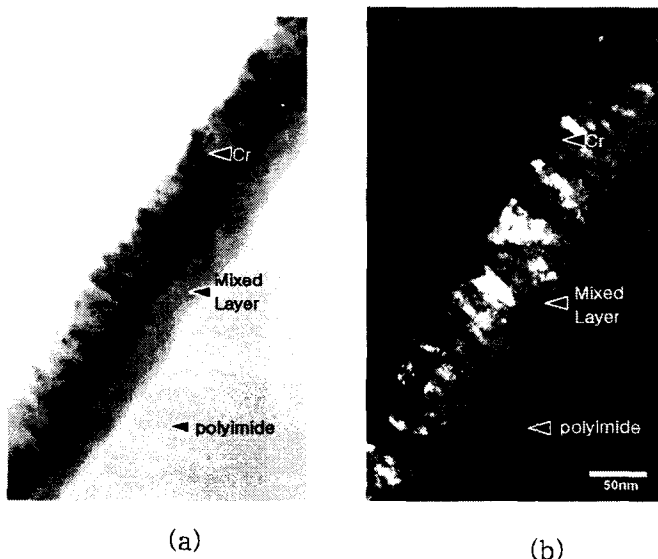


그림 4. Bias sputtered Cr(200W)/PI의 단면 TEM (a) 명시야상 (b) 암시야상

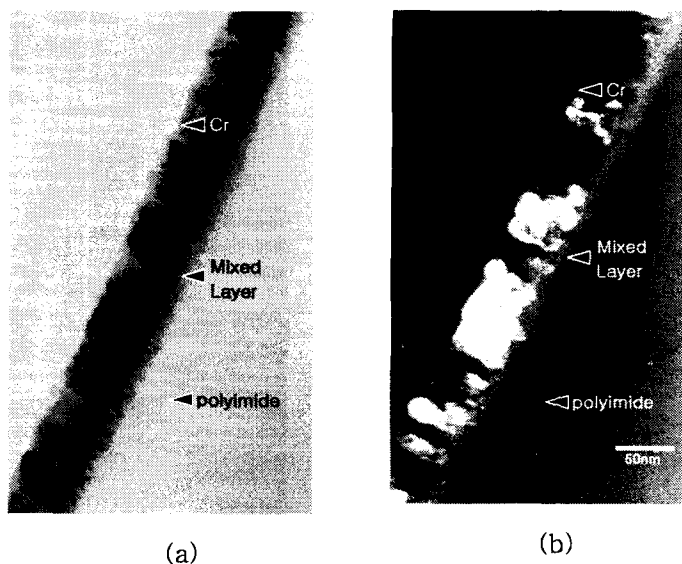


그림 5. Bias sputtered Cr(400W)/PI의 단면 TEM (a) 명시야상 (b) 암시야상

RF bias sputtering은 기판에 RF bias를 가하여 adatom들을 기판 쪽으로 가속시키게 되는데, 가속되는 adatom들은 기판에 충돌하므로, 기판의 온도가 400℃까지 상승한다.[10] 따라서 우리가 RF bias 200 W, 400 W에서 형성된 mixed layer가 앞에서 언급한 implantation효과 때문인지 아니면, 온도 상승으로 인하여 Cr이 폴리이미드 쪽으로 확산하여 형성된 것인지를 확인할 필요가 있었다. Bias sputtering으로 인한 온도 효과가 폴리이미드와 Cr층의 계면에 미치는 영향을 알아보기 위해 다음과 같은 실험을 실시하였다. DC sputtering방식으로 증착하면서 기판의 온도를 400℃까지 상승하면, bias sputtering의 implantation 효과 없이 온도 상승 효과가 폴리이미드와 금속의 계면에 미치는 영향을 볼 수 있으므로 그림 6(a)에서와 같이 기판을 400℃로 가열하였다. 이 경우 열의 흐름은 기판에서 계면 쪽으로 향하게 된다. 그림 6(b)의 경우는 폴리이미드 위에 상온에서 DC sputtering방법으로 Cr 층을 증착시킨 후, 그 위에 *in-suit*로 RF bias sputtering(400W)방법으로 Cr 층을 증착하였다. 따라서 열의 흐름은 박막에서 계면 방향으로 흐르게 되므로, 이러한 열 흐름이 폴리이미드와 금속층의 계면에 미치는 영향을 볼 수 있다.

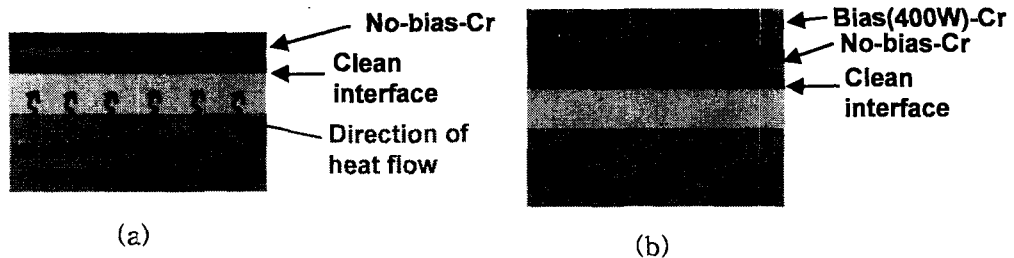


그림 6. Bias sputtering의 온도 효과 확인을 위한 실험 모식도

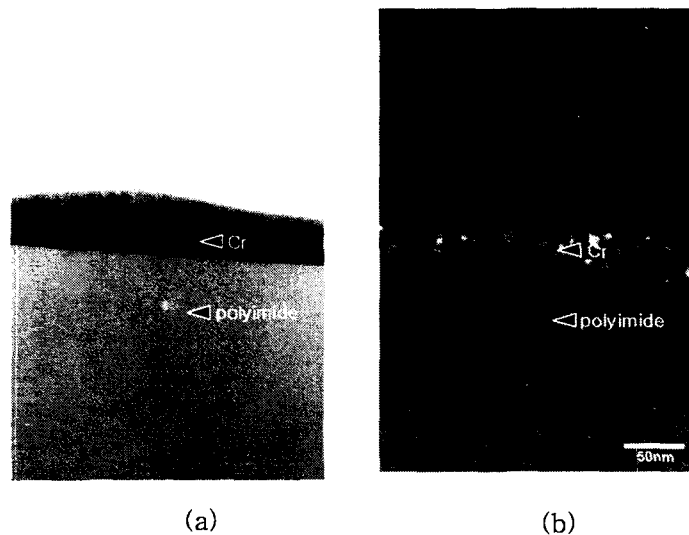


그림 7. Cr (without the RF bias)/ PI interface (기판의 온도는 400℃유지)  
(a) 명시야상 (b) 암시야상

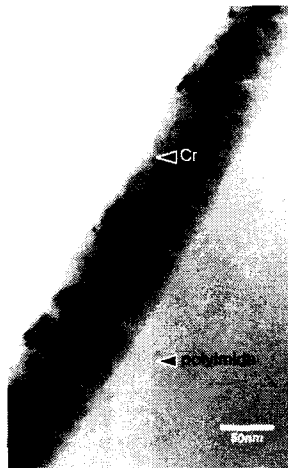


그림 8. Cr (with RF bias at 400 W) / Cr (without the RF bias) / PI 의 명시야상

그림 6의 (a)의 경우 계면을 그림7에 나타내었다. 명시야상과 암시야상을 확인하여도 두 층의 mixed layer는 관찰되지 않았다. 또한 그림 6(b)의 경우에서 계면은 그림 8과 같은데, 이 경우 역시 두 층의 계면은 매우 깨끗하고 mixed layer는 발견되지 않았다. 따라서, bias sputtering시에 형성되는 mixed layer는 기판에 RF bias를 가함으로써 sputtering시의 가속된 adatom들이 폴리이미드 속으로의 implantation하여 형성된 것이지 기판의 온도 상승으로 인해 Cr이 고상 확산하여 형성된 것이 아니라는 것을 알 수 있다.

## References

- [1] R. R. Tummala and E. J. Rymaszewski (Eds), "Microelectronics Packaging Handbook." Van Nostrand Reinhold, New York(1989)
- [2] M. K. Ghosh, K. L. Mittal(Eds), "POLYIMIDES" Marcel Dekker, New York(1996)
- [3] B. K. Furman, K. D. Childs, et al, J. Vac. Sci. Technol. A10(4), Jul/Aug 1992[1]
- [4] Ri Eui Jae J. Kor. Met. & Mater. Vol. 37, No. 8(1999)
- [5] J.-S. Kang, MD thesis, Hanyang Univ. (2000)
- [6] J.-G. Jung, MD thesis, Hanyang Univ. (2000)
- [7] D. M. Mattox, J. Vac. Sci. Technol. A7(3), May/Jun 1989[9]
- [8] D. C. Kim, C. H. Cho, Y. H. Kim, Korean Institute of Metals and Materials, Poster presentation, (1997)