

RF 바이어스 스퍼터링한 Cr 박막과 감광성 폴리이미드 사이의 계면 TEM 분석

조성수 · 김영호
한양대학교 재료공학과

TEM Analysis of Interfaces between Cr Film Sputtered with RF Bias and Photosensitive Polyimide

Seong-Su Jo, Young-Ho Kim

Department of Materials Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

초 록: 감광성 폴리이미드 위에 Cr을 RF 바이어스 스퍼터링 및 RF 클리닝 후 DC 스퍼터링한 Cr/폴리이미드의 계면을 TEM으로 관찰하였다. RF power 밀도를 0.13 W/cm^2 에서 2.12 W/cm^2 로 증가시키면서 RF 클리닝을 실시한 결과 폴리이미드의 에칭 양상이 둥근 모양에서 뾰족한 모양으로 변하였고 이방성 에칭으로 인해 거칠기가 크게 증가하였다. RF 바이어스 스퍼터링의 경우 RF power를 올리는 동안 RF 클리닝에 의해 폴리이미드가 에칭되었고, 에칭된 부분에 Cr이 증착된 계면을 단면으로 관찰한 결과 Cr과 폴리이미드가 겹쳐져서 혼합된 것처럼 보였다. 그러나 RF power를 올리는 시간을 단축시켜 Cr을 바이어스 스퍼터링했을 때에는 계면이 분명하게 관찰되어 Cr의 implantation이 일어나지 않았음을 알 수 있었다. RF 클리닝한 Cu/Cr/polyimide를 필 테스트한 결과 짧은 시간의 RF 클리닝으로도 접착력이 크게 증가하였다. 그러므로 RF power를 올리는 동안 실시되었던 RF 클리닝이 RF 바이어스 스퍼터링한 Cr/polyimide의 접착력 향상에 영향을 주었을 것으로 예상된다.

Abstract: Cr thin films were deposited on photosensitive polyimide substrates by RF bias sputtering and DC sputtering and the interfaces between Cr thin film and polyimide were observed using TEM. When the polyimide surface was in-situ RF plasma cleaned at the RF power density of $0.13\text{-}2.12 \text{ W/cm}^2$, increasing of RF power density changed the morphology of polyimide surfaces from round dig to sharp shape, and surface roughness increased by anisotropic etching. The intermixed layer-like interfaces between Cr and polyimide were observed in the RF bias sputtered specimens. This interface seems to be formed due to the RF cleaning effect; the polyimide surface was RF plasma cleaned while RF power was increased to the setting point before Cr deposition.

Keywords: Adhesion, polyimide, RF bias sputtering, peel test, interface analysis

1. 서 론

폴리이미드는 타 폴리머에 비해 열적, 화학적으로 안정하고, 저 유전상수를 가지고 있어서 전자 패키지 분야에서 절연 물질로 널리 쓰이고 있다¹⁾. 소자의 집적도를 향상시키기 위한 다층배선 기술에서 폴리이미드를 층간 절연물질로 사용하고 있

고, 폴리이미드의 평탄화 특성은 이러한 기술을 가능하게 하여 제품의 성능을 향상시키므로 이의 사용은 계속 확대될 것으로 전망된다^{2,3)}. 일반적으로 금속과 폴리이미드 계면에서의 접착력은 매우 낮으므로, 고기능 전자 소자의 신뢰성을 유지 및 향상시키기 위해서는 금속과 폴리이미드 사이의 충분한 접착력이 확보되어야 한다. 접착성은 계면

에서 원자 또는 분자 수준에서의 상호 반응과 관련되는 것이므로 표면의 화학적, 물리적 상태가 중요하고, 기판의 성질을 바꾸지 않으면서 표면의 처리만으로 접착력을 향상시킬 수 있다.

금속/폴리이미드 간 접착력 향상 방법 및 원리를 분석하고자 하는 많은 연구가 지금까지 꾸준히 수행되었다⁴⁻⁹⁾. 일반적으로 Radio Frequency(RF) 플라즈마를 이용하여 금속 박막의 증착 전 폴리이미드 기판을 처리하는 방법이 주로 사용되었고 기판에 바이어스 전압을 부하한 동시에 금속을 증착하는 RF 바이어스 스퍼터링 방법을 사용하여 접착력을 향상시킨 보고도 있다^{10,11)}. 이러한 처리 후 금속/폴리이미드 계면에서의 반응성 및 화학적 결합에 대한 분석은 Auger Electron Spectroscopy(AES), X-ray Photoelectron Spectroscopy(XPS)의 표면 분석 장비를 통해 이루어졌는데 표면에서의 카보닐 결합(C=O)이 끊어져 산소의 양이 감소하고 활성화 된 탄소가 금속과 반응하여 탄화물 형태의 결합을 이루어 접착력이 향상된 것으로 알려져 있다¹²⁻¹⁵⁾. 표면의 관찰은 Scanning Electron Microscope(SEM)를 이용하였으나, charging 효과를 방지하기 위해 증착된 Au에 의한 왜곡이 가능하고 이차원적인 관찰로 인해 정확한 형상을 알 수 없는 단점이 있다¹⁶⁻¹⁸⁾. 최근 Atomic Force Microscope(AFM)을 이용하여 플라즈마 처리한 표면의 형상을 관찰하였으나¹⁹⁾ 처리한 폴리이미드 위에 실제로 금속을 증착한 경우의 계면에 대한 관찰은 거의 이루어지지 않았다.

RF 바이어스 스퍼터링한 Cr과 polyimide의 계면 Transmission Electron Microscopy(TEM) 분석에서 Cr이 implantation된 것으로 보이는 혼합층이 형성되었다는 보고가 있었다¹¹⁾. 이러한 혼합층의 형성은 금속 박막과 폴리이미드의 결합 반응을 증가시키고 기계적 교착을 이루어 접착력을 향상시키는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 Ar 증착 압력과 RF power 밀도를 변화시키면서 RF 바이어스 스퍼터링 및 RF 클리닝을 실시한 Cr/폴리이미드 계면을 TEM으로 관찰하였고, 상호 비교를 통해 RF 플라즈마 처리에 의한 계면 변화를 분석하였

다. 또한, 90° 필 테스트를 통해 접착력에 대한 영향을 확인하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 Toray사의 감광성 폴리이미드인 BG2480(Photoneece™)을 사용하였다. Si wafer를 Trichloroethylene, 아세톤, 메탄올, 탈이온수에 각각 5분씩 초음파 세척을 실시한 후 질소가스로 물기를 제거하였다. 폴리이미드 타입의 BG2480을 Si 기판 위에 떨어뜨리고 700 rpm에서 10초, 4000 rpm에서 30초 동안 spin coating을 실시하고, 70°C의 건조오븐에서 50분간 유지하여 용매를 제거하였다. 그 후 고순도 질소가스 분위기의 석영관 전기로에서 140°C에서 30분, 350°C에서 3시간 동안 유지하여 큐어링(curing) 시킨 다음 상온이 될 때까지 노냉을 하였다.

단면 TEM 시편을 만들기 위해 준비된 폴리이미드를 RF 클리닝 처리하고 Cr 박막을 증착하였다. 초기 진공은 0.2 mPa(1.5×10^{-6} torr)이하로 유지하였고, 증착시 Ar 압력은 0.5-1.3 Pa로 조정하였다. RF 전원을 기판에 연결하여 50-800 W 사이의 전력으로 10분과 20분 동안 실시하였다. 그 후 RF 전원을 차단한 후 Cr을 DC 마그네트론 스퍼터링 하였고 이때 Cr의 두께는 50 또는 400 nm 정도였다. 또한 기판에 RF 전압을 부하한 상태에서 Cr을 증착하는 RF 바이어스 스퍼터링을 실시하였다. 이때 원하는 RF power까지 올리는데 20-50초 정도의 시간이 걸렸고, 약 50 nm 두께의 Cr을 바이어스 스퍼터링을 한 후 기판에 걸린 RF 전원을 끄고 연속적으로 350 nm 두께 정도의 Cr을 DC 스퍼터링으로 증착하였다. 위와 같이 증착을 함으로써 계면부분의 제한 시야 회절 관찰시 Cr 표면의 산화와 Cr/폴리이미드 계면의 산화 유무를 구별하여 분석할 수 있었다. 기판에 걸린 바이어스 전압은 Table 1과 같은 값으로 측정되었는데 RF power의 증가에 대해 정비례하여 증가하지는 않았다.

접착력 측정을 위한 패턴을 형성하기 위해 가로 2 mm, 세로 30 mm의 띠 모양으로 열려있는 금속 마스크를 폴리이미드 기판에 밀착시켰다. 그 후

Table 1. DC bias voltage with RF power

	50 W (0.13 W/cm ²)	100 W (0.27 W/cm ²)	200 W (0.53 W/cm ²)	800 W (2.12 W/cm ²)
DC bias Voltage	-73 V	-113 V	-168 V	-337 V

위와 동일한 조건에서 RF 바이어스 스퍼터링 및 RF 클리닝 후 DC 스퍼터링하여 두께 50 nm의 Cr 박막을 증착하고 *in-situ*로 두께 500 nm의 Cu 박막을 증착하였다. 금속 띠를 벗기면서 접착력을 측정하기에는 Cu/Cr 층의 두께가 작아서 구리 전기 도금을 실시하여 총 두께 20 μm 의 금속 띠를 형성하였다. 이때 사용한 구리도금액은 탈이온수에 황산구리와 황산을 넣어 제조하였고, 각각의 도금 띠들을 silver paste와 구리선으로 연결하고 0.06 A

의 전류를 60분 동안 인가하였다.

Cu/Cr 금속층과 폴리이미드 사이의 열처리 전후 접착력은 90° 필(peel) 테스트를 실시하여 정량적인 값을 구하였다. RF 플라즈마 처리에 대한 폴리이미드의 에칭 정도를 확인하기 위해 처리된 폴리이미드의 표면을 AFM(Park Scientific Instruments, microprobe)으로 관찰하고, Cr/폴리이미드 계면은 TEM(JEOL 2000 EX II)으로 관찰하였다. 단면 TEM 시편은 Gatan사의 Precision Ion Polishing

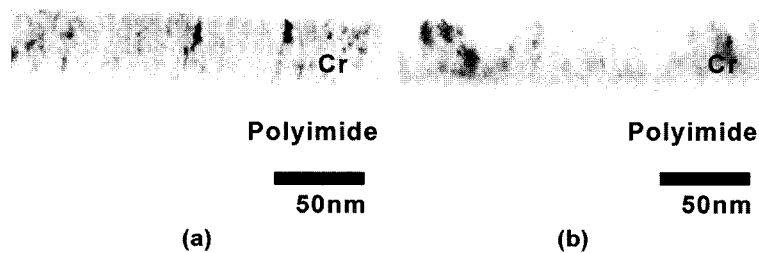


Fig. 1. TEM images of interface between Cr and polyimide. Cr was sputtered with RF bias power density of (a) 0 W/cm² and (b) 1.06 W/cm² at 0.67 Pa Ar pressure.

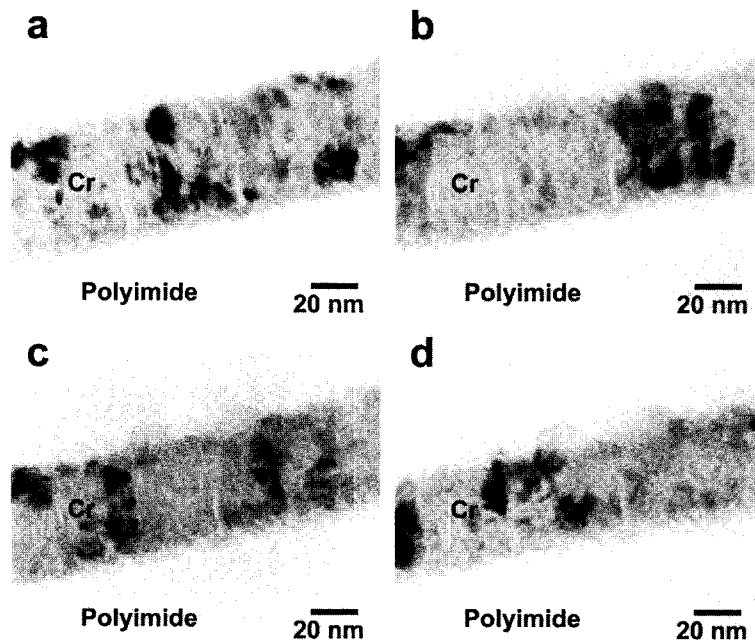


Fig. 2. TEM images of interface between Cr and polyimide with specimen tilting. Tilting angles are (a) 0°, (b) 5°, (c) 10°, and (d) 15°. Cr was RF bias sputtered with 1.06 W/cm² bias at the Ar pressure of 0.67 Pa.

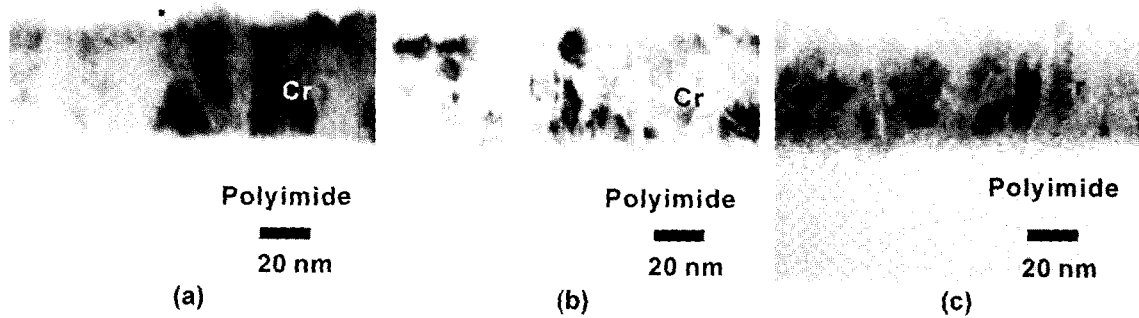


Fig. 3. TEM images of interface between Cr and polyimide as a function of Ar pressure. Cr was sputtered with 1.06 W/cm^2 RF bias power at the Ar pressure of (a) 0.50 Pa, (b) 0.67 Pa, and (c) 1.0 Pa.

System(PIPS™)을 이용하여 준비하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 DC 스퍼터링 및 RF 바이어스 스퍼터링 한 Cr과 폴리이미드의 계면을 TEM으로 관찰한 사진이다. 그림에서 보듯이 DC 스퍼터링을 실시한 경우에는 두 재료 사이의 경계가 뚜렷하게 관찰되는 반면, 바이어스 스퍼터링을 한 경우에는 계면에서 Cr과 폴리이미드가 혼합된 것으로 보이는 층이 형성되었다. 이러한 혼합층은 기판에 걸린 바이어스로 인한 가속으로 에너지를 얻은 Cr 입자가 폴리이미드 안쪽으로 implantation되어 형성된 것으로 생각할 수 있으나 보다 자세한 관찰 및 분석이 뒷받침되어야 한다. 박막의 구조를 보면 DC 스퍼터링을 실시한 경우가 바이어스 스퍼터링을 한 경우보다 수직 성장 방향성이 더 발달된 것으로 보인다. 그 이유는 바이어스를 걸어주었을 때 입자의 가속 및 충돌로 여분의 에너지가 첨가되어 박막의 성장 거동에 영향을 끼친 것으로 판단된다¹¹⁾. 또한 금속 박막의 성장 방향성은 기판의 종류에 따라 다른 것으로 알려져 있다²¹⁾.

Fig. 2는 Ar 0.67 Pa 증착 압력에서 1.06 W/cm^2 의 RF power 밀도로 바이어스 스퍼터링한 Cr/폴리이미드의 구조의 TEM 시편을 5° 간격으로 기울이면서 관찰한 것으로서 시편의 기울어짐 정도에 따라 계면에 형성된 층의 두께와 형상이 달라짐을 보여준다. 계면의 Cr 박막을 종축으로 시편을 기울일수록 혼합층의 두께가 두꺼워지고 Cr 표면과 계면의 거칠기가 증가한 것으로 관찰되었는데, 박막

자체의 측면과 하부면 또는 상부면이 증착되면서 관찰되었기 때문이다. 시편의 기울어짐은 이와 같은 인위적인 조작이 아니더라도 시편을 준비하는 과정에서 생길 가능성이 있으므로, TEM 관찰시 주의가 필요하다. 본 실험에서는 시편을 기울이면서 두께 변화와 계면의 거칠기 변화를 확인하여 기울어지지 않은 계면을 관찰하였다.

계면에 형성된 혼합층은 Ar 증착 압력의 변화에 따라 다른 양상을 나타내었다. 즉, Fig. 3(a)와 같이 0.5 Pa의 Ar 압력에서 바이어스 스퍼터링을 실시한 Cr/폴리이미드의 계면에서는 혼합층이 관찰되지 않다가 Ar 압력을 0.67 Pa로 증가시켰을 때에는 Fig. 1(b)의 혼합층 보다는 작은 두께를 가진 혼합층이 계면에 생성되었고, 1.0 Pa로 증가시켰을 때에는 혼합층의 두께도 약 8 nm 정도로 증가하였다. 이때 Cr을 증착하기전 RF power를 400 W로 올리는데 걸린 시간은 대략 20-30초 정도였다. RF power를 올리는 시간 동안 기판에 부하되어진 전압으로 인해 RF 플라즈마가 형성되었으므로 폴리이미드가 RF 클리닝되었을 것으로 예상된다. 그러므로 계면에서 관찰된 혼합층은 Cr의 implantation으로 형성된 것이 아닌 RF 클리닝되어 거칠어진 폴리이미드 표면에 Cr이 증착된 시편을 단면으로 관찰할 때 Cr과 폴리이미드가 증착되어 관찰된 것으로 보이고, 예칭 속도는 Ar 압력의 증가에 대해 증가한 것으로 판단된다. 또한 Fig. 1(b)와 Fig. 3(b)처럼 같은 조건으로 바이어스 스퍼터링을 했음에도 혼합층의 두께가 차이 난 이유는 RF power를 올리는데 걸린 시간, 즉 RF 클리닝 되어진 시간이 달랐기 때문으로 예상할 수 있다.

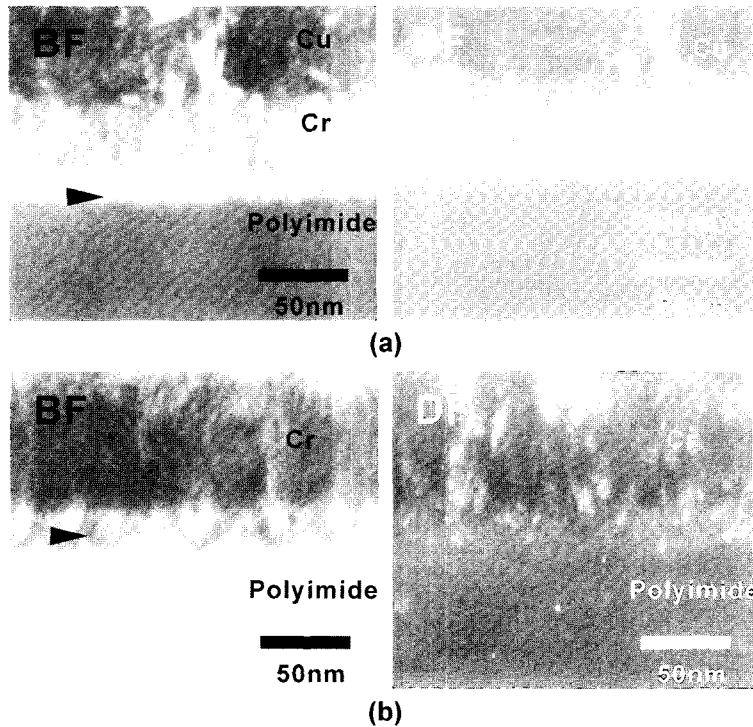


Fig. 4. TEM images of interface between Cr and polyimide as a function of RF cleaning time. Polyimides were pre-treated for (a) 10 min and (b) 20 min with 0.13 W/cm^2 RF bias power at 1.3 Pa Ar pressure.

위의 결과를 확인하기 위해 시간과 power 밀도를 변화시키면서 RF 클리닝을 실시한 후 Cr을 DC 스퍼터링한 시편의 단면을 TEM으로 관찰하였다.

Fig. 4는 RF 클리닝 시간에 따른 계면의 변화를 보여주고 있다. RF 클리닝은 1.3 Pa의 Ar 압력에서 0.13 W/cm^2 의 RF power 밀도로 각각 10분과 20분 동안 실시하였다. 그림의 화살표가 가리키고 있는 것 처럼 바이어스 스퍼터링을 했을 때와 비슷한 혼합층이 계면에 생성되었는데 그 두께는 평균 11 nm 정도였고, 클리닝 시간을 20분으로 증가함에 따라 비례해서 두께가 증가하였다. 암시야 상에서는 Cr의 회절로 인한 상이 관찰되고 있어서 혼합층에 Cr이 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 Ar 0.67 Pa 압력에서 $0.53, 2.12 \text{ W/cm}^2$ 의 RF power 밀도로 10분 동안 클리닝을 실시한 후 Cr을 DC 스퍼터링한 시편을 TEM으로 관찰한 것이다. 그림을 보면 RF power 밀도가 증가함에 따라 혼합층이 둥근 형태에서 뾰족한 형태로 변하였고, 그 깊이 또한 크게 증가했음을 알 수 있다. RF 클리닝을 하지 않은 Fig. 1(a)와 달리 RF 클리닝을

Table 2. RMS values of polyimide surface treated by various RF plasma densities

	0 W/cm^2	0.13 W/cm^2	0.53 W/cm^2	2.12 W/cm^2
RMS (Å)	10.7	10.7	52.0	57.3

실시한 경우에 혼합층이 나타났으므로 혼합층의 두께 및 형태는 폴리이미드의 에칭과 관련되어 있음을 판단할 수 있다. 즉, 클리닝 시간이 증가함에 따라 혼합층의 두께가 증가한 이유는 에칭 정도가 증가했기 때문으로, 또한 RF power에 따라 혼합층의 형상이 달라진 것은 RF cleaning power가 커지면서 에칭된 폴리이미드 표면의 거칠기가 증가했기 때문으로 사료된다.

Fig. 6은 Ar 가스 압력 0.67 Pa에서 각각의 RF power density로 10분 동안 클리닝한 폴리이미드 시편의 $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ 범위를 AFM으로 관찰한 결과이다. 그림에서 보면 RF 클리닝을 실시하지 않은 폴리이미드 표면과 0.13 W/cm^2 로 처리한 경우 거칠기의 차이가 거의 없는 것처럼 관찰되었으나, 0.53 W/cm^2 로 RF power 밀도가 증가하자 표면의

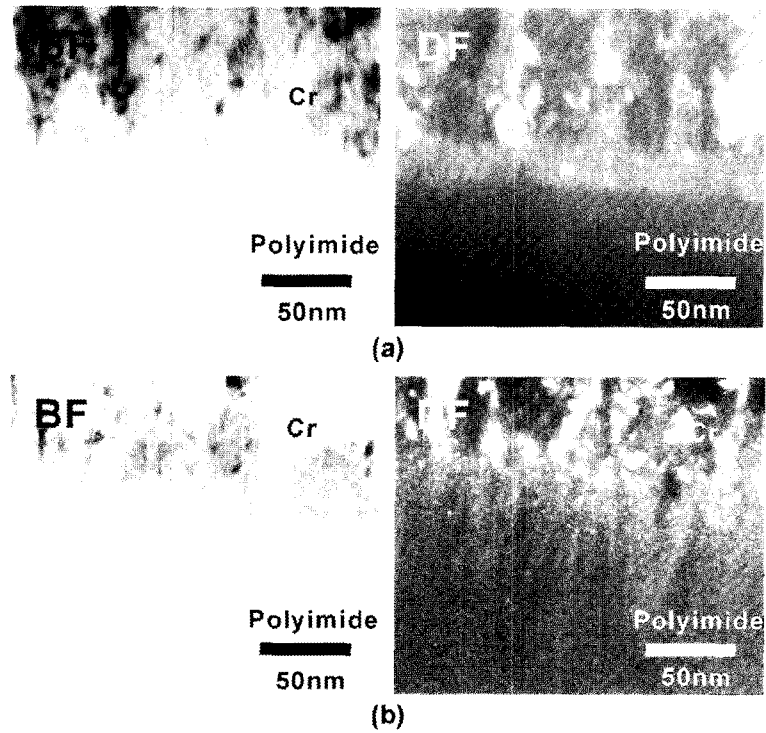


Fig. 5. TEM images of interface between Cr and polyimide as a function of RF bias power density. Polyimides were pre-treated with (a) 0.53 W/cm² and (b) 2.12 W/cm² at 0.67 Pa Ar pressure.

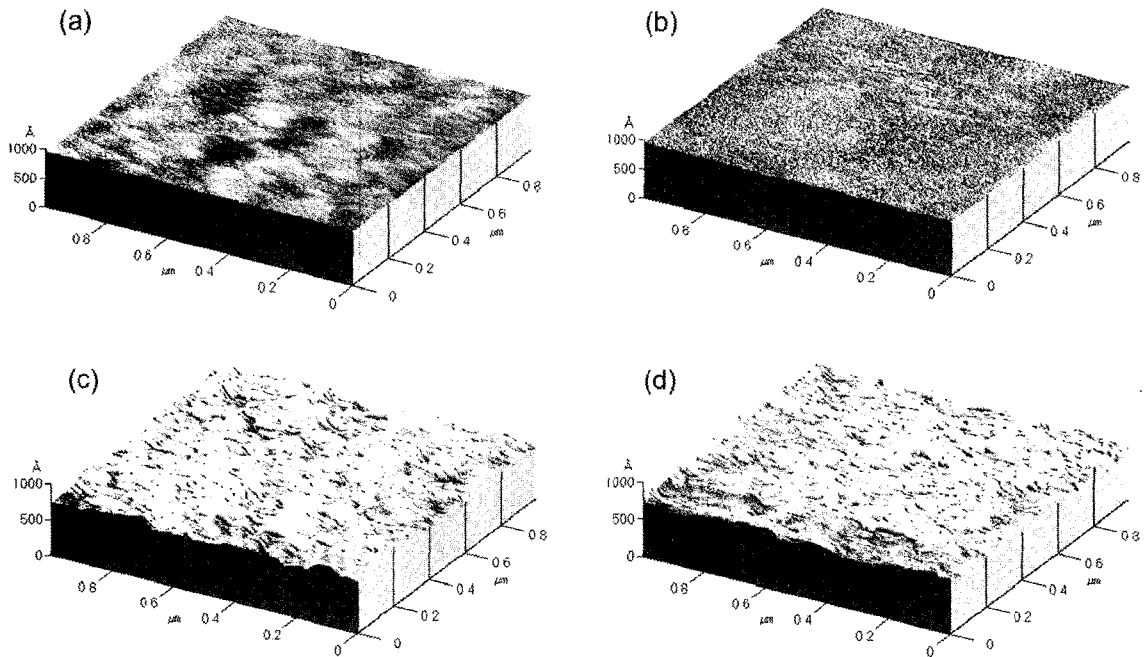


Fig. 6. AFM surface morphologies of polyimide (1 μm × 1 μm). Surfaces were modified by RF plasma pre-treatment with power density of (a) 0, (b) 0.13, (c) 0.53, and (d) 2.12 W/cm². The time of treatment was 10 min.

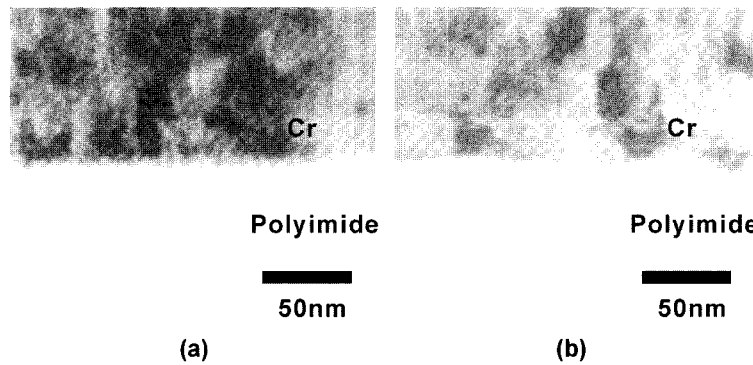


Fig. 7. TEM images of interface between RF bias sputtered Cr and polyimide as a function of RF power rise time. Time spent to raise RF power from 0 W to 800 W before Cr deposition was about (a) 40 s and (b) 2-3 s.

거칠기가 크게 증가했고, 2.12 W/cm^2 의 경우에도 마찬가지로 표면이 매우 거칠어졌다. Table 2는 각각의 power 밀도에 대한 Root Mean Square(RMS) 값으로 $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 범위로 부터 측정하였다. 표면 이미지와 마찬가지로 RF power 밀도를 0.53 W/cm^2 로 증가함에 따라 RMS 값이 급격히 증가하였다. 그러므로 Fig. 5의 관찰 결과와 마찬가지로 RF power 밀도가 증가함에 따라 클리닝한 폴리이미드의 표면 거칠기가 증가하였다. 이러한 표면 거칠기의 증가는 폴리이미드의 이방성 에칭에 의한 결과로 볼 수 있다. 폴리이미드는 결정질 부분인지 아니면 비결정질 부분인지에 따라, 그리고 폴리이미드의 crosslink 밀도에 따라 에칭 속도가 차이가 나므로²⁰⁾ 위치에 따라 에칭 정도가 달라져서 거칠기가 증가한 것으로 생각된다. 또한 에칭의 방향도 이방성 에칭의 원인이 된 것으로 생각된다. 즉, Ar^+ 이온이 주로 폴리이미드 표면에 수직 방향으로 입사되었기 때문에 혼합층에 나타난 파인 형상이 너비보다 깊이가 큰 것으로 판단된다. RF power 밀도가 증가함에 따라 이러한 이방성 에칭 정도가 커져서 Fig. 5(a)와 같이 굴곡의 종횡비가 더욱 커졌음을 알 수 있다. Fig. 5(b)의 경우에는 이방성 에칭 정도가 매우 커서 거칠기가 크게 증가하였고, 굴곡의 형상 또한 바뀐 것으로 생각할 수 있다.

지금까지의 결과로 혼합층의 생성은 폴리이미드의 에칭에 의한 것임을 알 수 있다. RF 바이어스 스퍼터링을 할 때 순수한 Cr의 implantation으로 어느 정도의 혼합층이 생성되는지를 확인하기 위해 RF power 올리는 시간을 3초 이내로 줄인 후

Cr을 바이어스 스퍼터링을 실시하였다. RF power는 implantation 효과를 크게 하기 위해 800 W (2.12 W/cm^2)를 인가하였다. Fig. 7은 RF power를 올리는 시간에 따른 RF 바이어스 스퍼터링한 Cr과 폴리이미드 계면의 TEM 사진이다. Fig. 7(a)와 같이 RF power를 올리는데 시간이 40-50초 걸렸을 때에는 폴리이미드 표면의 에칭에 의한 것으로 보이는 혼합층이 관찰되었다. 반면에 Cr을 바이어스 스퍼터링 하기 전까지 3초 정도 걸린 Fig. 7(b)의 계면은 거칠기가 없이 평탄했고, 혼합층이 관찰되지 않았기 때문에 Cr의 implantation이 일어나지 않았음을 알 수 있었다. 따라서 바이어스 스퍼터링시 계면에서 혼합된 것으로 보였던 부분은 mixing에 의한 것이 아니라 플라즈마 에칭에 의한 거칠기 효과로 인해 생겼음을 확인할 수 있었다.

RF power를 올리는 동안 행해졌던 RF 클리닝이 Cr/폴리이미드 계면의 접착력에 영향을 주었는지를 확인하기 위해 필 테스트를 실시하여 정량적인 접착력 값을 측정하였다. 타 실험자의 결과에 의하면 RF 바이어스 스퍼터링을 적용한 Cu/Cr/폴리이미드에 대한 90° 필 테스트 결과는 모든 RF power 밀도에서 약 1200 J/m^2 정도의 일정한 접착력을 가지는 것으로 측정되었다¹¹⁾. RF 바이어스 스퍼터링을 실시할 경우 기판의 온도가 상승하였는데 기판에 걸린 전기장으로 Ar^+ 이온과 Cr 입자가 가속되어 폴리이미드에 충돌 및 증착이 되면서 열이 발생했기 때문이다. 이와 같이 증착시 더해진 에너지는 폴리이미드 위에서의 Cr 입자의 활동성을 증가시키고 결합 반응에 필요한 에너지를 공급함으로써 Cr과 폴리이미드 사이의 접착력 증가

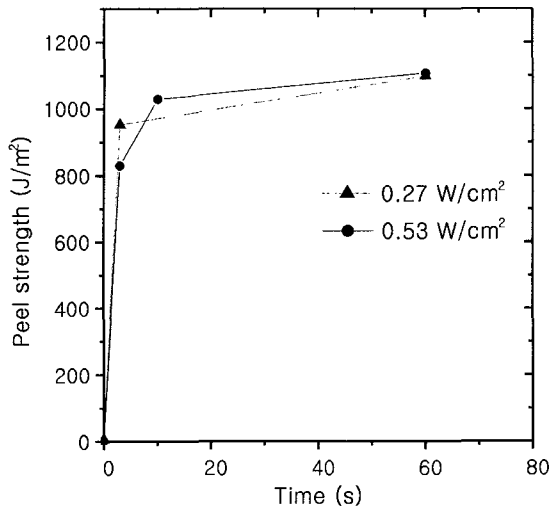


Fig. 8. Peel strengths of Cu/Cr/polyimide after RF plasma cleaning at 0.27 and 0.53 W/cm² for a short time.

를 가져온다.

Fig. 8은 0.27, 0.53 W/cm²의 RF power 밀도로 클리닝을 실시했을 때 클리닝 시간에 따른 90° 필 접착력 값이다. 그래프를 보면 RF 클리닝을 하지 않았을 때에는 5.9 J/m²의 매우 낮은 값이 측정되었지만, 3초 정도의 짧은 시간만으로도 980-1080 J/m²의 RF 바이어스 스퍼터링 했을 때와 비슷한 값으로 접착력 값이 크게 증가하였다. 그러므로 RF 바이어스 스퍼터링을 했을 때 Cr/폴리이미드 사이의 접착력 향상에는 RF power를 올리는 동안의 RF 클리닝 효과와 기판에 걸여준 바이어스에 의한 효과가 모두 영향을 끼쳤음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 RF power, Ar 증착 압력, 클리닝 시간을 변수로 RF 바이어스 스퍼터링 및 RF 클리닝 후 DC 스퍼터링한 Cr/폴리이미드의 계면 형상 변화를 분석하고, 필 테스트를 통해 접착력에 미치는 영향을 확인하여 다음의 결론을 얻었다.

- 1) RF 바이어스 스퍼터링시 계면에 관찰된 Cr과 폴리이미드가 혼합된 층은 Cr의 implantation에 의한 것이 아니라 RF power를 올리는 동안 폴리이미드 표면이 에칭되고, 그 안쪽으로 Cr이 증착된 것을 단면으로 관찰할 때 중첩되어 나타난 것이었다.
- 2) Cr/폴리이미드 계면의 형상으로 보아 이방성

에칭이 일어났음을 알 수 있다. RF power 밀도가 증가함에 따라 이방성 에칭 정도가 심해져서 패인 부분의 종횡비가 커졌으며, 그로 인해 동일 시간 동안 RF 클리닝했을 때 계면의 거칠기가 증가하였다.

3) Cr의 경우 짧은 시간의 클리닝으로도 폴리이미드와의 접착력이 크게 향상되었다. 이러한 효과는 RF 바이어스 스퍼터링한 Cr/폴리이미드의 계면 접착력에 영향을 끼쳤다. 또한 RF 바이어스 스퍼터링이 Cr 박막의 성장 거동에 영향을 미쳐서 미세 구조가 변화하였음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단 전자 패키지 재료 연구센터의 지원으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다. 그리고 실험에 대해 많은 조언 및 도움을 준 김선영 양에게 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

1. R. Souza-Machado, S.-Y. Wu, and D.D. Denton, "Dielectric Properties of Polyimides and Factors Influencing Such Properties", in *Polyimides: fundamentals and applications*, M.K. Ghosh and K.L. Mittal, Eds., Marcel Dekker, Inc, New York (1996).
2. L.B. Rothman, "Properties of Thin Film Polyimide Films", *J. Electrochem. Soc.*, 127, 2216 (1980).
3. D.R. Day, D. Ridley, J. Mario, and S.D. Senturia, "Polyimide Planarization in Integrated Circuits", in *Polyimides: synthesis, characterization, and applications*, K.L. Mittal, Eds., 767, Plenum Press, New York (1984).
4. A.L. Ruoff, E.J. Kramer, and C.-Y. Li, "Improvement of Adhesion of Copper on Polyimide by Reactive Ion-beam Etching", *IBM J. Res. Develop.*, 32(5), 626 (1988).
5. Y. Nakamura, Y. Suzuki, and Y. Watanabe, "Effect of Oxygen Plasma Etching on Adhesion between Polyimide Films and Metal", *Thin Solid Films*, 290-291, 367 (1996).
6. P.K. Wu, S. Dabral, G.-R. Yang, B. Gittleman, C. Li, J.F. McDonald, and T.-M. Lu, "Metal/Polymer Interface Adhesion by Partially Ionized Beam Deposition", *J. Appl. Phys.*, 80(15), 5759 (1996).
7. A. Ebe, E. Takahashi, Y. Iwamoto, N. Kuratani, S. Nishiyama, O. Imai, K. Ogata, Y. setsuhara, and S.

- Miyake, "Improvement of the Adhesion to Polyimide Substrates of Copper Films Prepared by an Ion Beam and Vapor Deposition Method", *Thin Solid Films*, 281-282, 356 (1996).
8. G.S. Chang, S.M. Jung, Y.S. Lee, I.S. Choi, C.N. Whang, J.J. Woo, and Y.P. Lee, "Mechanism for Interfacial Adhesion Strength of an Ion Beam Mixed Cu/polyimide with a Thin Buffer Layer", *J. Appl. Phys.*, 81(1), 135 (1997).
 9. J.S. Cho, W.-K. Bang, K.H. Kim, Y.H. Baeg, S. Han, Y.B. Sun, and S.K. Koh, "Metallization of Polymers Modified by Ion-assisted Reaction (IAR)", *J. Microelectronics & Packaging Soc.*, 8(1), 53 (2001).
 10. 이의재, "RF sputter 방법을 이용하여 Polyester 기판 위에서 성장시킨 Ag 박막의 공정조건과 물리적 특성에 관한 연구", *대한금속학회지*, 37(8), 1014 (1999).
 11. S.Y. Kim, Y.-H. Kim, and C.S. Yoon, "Adhesion of RF Bias-sputtered Cr thin films onto Photosensitive polyimide substrates", *Proceedings of 3rd International Symposium on Electronic Materials and Packaging (Jeju Island, Korea, Nov. 2001)* 125.
 12. K.S. Sengupta and H.K. Birnbaum, "Structural and Chemical Effects of Low Energy Ion Bombardment of PMDA-ODA Surfaces", *J. Vac. Sci. Technol. A*, 9(6), 2928 (1991).
 13. T.-G. Chung, Y.-H. Kim, and J. Yu, "An Auger Study on the Interaction of Cu and Cr Films with Polyimide", *J. Adhesion Sci. Technol.*, 8(1), 41 (1994).
 14. 오태성, 김동구, 김정일, "RF 스퍼터 처리된 폴리이미드와 Cr박막간 계면 접착력과 계면 반응성", *J. ISHM-Korea*, 1(1), 33 (1994).
 15. 유진, "전자 재료 패키징에서의 금속/폴리머 접착력", *대한금속재료학회지*, 40(5), 518 (2002).
 16. K. Suzuki, K. Matsumoto, and T. Takatsuka, "Surface Modification of a Plastic Substrate During Ion Plating", *Thin Solid Films*, 80, 67 (1981).
 17. R. Flitsch and D.-Y. Shih, "A Study of Modified Polyimide Surfaces as Related to Adhesion", *J. Vac. Sci. Technol. A*, 8(3), 2376 (1990).
 18. 정태경, 김영호, 유진, "크롬/폴리이미드의 접착력에 미치는 폴리이미드 표면의 플라즈마처리의 효과", *한국표면공학학회지*, 26(2), 71 (1993).
 19. 박준규, 김동원, 김상호, 이연승, "O₂/Ar 플라즈마 처리에 의해 개질된 폴리카보네이트 기판에서 Cu의 밀착성", *한국재료학회지*, 12(9), 740 (2002).
 20. B.N. Banks, "Ion Bombardment Modification of Surfaces", O. Auciello and R. Kelly, Eds., Elsevier, Amsterdam (1984).
 21. 유세훈, 김영호, *마이크로저자 및 패키징학회지*, "저유전상수 폴리머와 SiO₂ 기판위에 형성된 Al/Ti박막의 우선방위 비교", 7(2), 37 (2000).