



&lt;연구논문&gt;

한국표면공학회지  
J. Kor. Inst. Surf. Eng.  
Vol. 46, No. 1, 2013.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2013.46.1.009>

## 인가 전류가 구리 도금 피막과 폴리이미드 필름의 접합력에 미치는 영향

이장훈<sup>a,b</sup>, 한윤성<sup>a</sup>, 이호년<sup>a</sup>, 허진영<sup>a</sup>, 이흥기<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>한국생산기술연구원 인천지역본부 열표면기술센터, <sup>b</sup>고려대학교 신소재공학부

### Effect of Additional Electrical Current on Adhesion Strength between Copper and Polyimide Films

Jang-hun Lee<sup>a,b</sup>, Yoonsung Han<sup>a</sup>, Ho-Nyun Lee<sup>a</sup>, Jin-Young Hur<sup>a</sup>, Hong Kee Lee<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Heat Treatment & Plating Technology Center, Incheon Regional Division, Korea Institute of Industrial Technology 7-47, Incheon 406-840, Korea

<sup>b</sup>Department of Material Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

(Received January 25, 2013 ; revised February 18, 2013 ; accepted February 28, 2013)

#### Abstract

The effect of the additionally applied electrical current on the adhesion strength between electroless Cu and polyimide films was investigated. Peel tests were performed after applying electrical current within the range from 0.1 to 100 mA for the duration from 1 to 30 minutes. Sample with more than 1 mA of additional electrical current for 1 minute showed higher adhesion strength than that without additional electrical current. However, samples with 10 mA of additional electrical current for more than 10 minutes showed the degradation of adhesion strength. Ra and RMS values of the peeled polyimide surface were proportional to the adhesion strength though there were no significant changes in the morphology of the peeled surfaces with varied amount and time-length of additional electrical current. Applying electrical current could increase the density of chemical bonding, which results in increase of the adhesion strength between copper and polyimide. However, in the case of applying additional electrical current for excessive amount or time, the degradation of the adhesion strength owing to the formation of copper oxide at the interface could occur.

*Keywords: Polyimide, Electroless copper, Electrical current, Adhesion*

## 1. 서 론

폴리머(polymer) 금속화 처리는 이동단말기기, 플렉서블 디스플레이(flexible display), 연성회로기판(flexible printed circuit board) 등의 IT 관련 응용분야에서 주목받고 있다. 이에 적합한 폴리머 물질 중, 폴리이미드 필름은 우수한 열적 안정성과 기계적 강도 및 내화화성을 지니며 유전율이 낮아 폴리머 금속화 처리시의 기판으로 유망한 것으로 보고되고 있다<sup>1,2)</sup>. 그러나, 폴리이미드(polyimide)를 구성하고 있는 이미드링(imide ring)의 특성으로 인하여 표

면의 극성이 낮아 다른 고분자 물질, 금속 및 세라믹 등과의 접합력이 떨어지는 단점을 지니고 있다<sup>1,2)</sup>.

폴리이미드와 금속의 접합력을 향상시키기 위하여 플라즈마 처리<sup>3,4)</sup>, 이온빔<sup>5)</sup>, 암모니아 처리<sup>6)</sup> 등의 건식 방법과 KOH<sup>7,8)</sup>, 아민 수용액<sup>9)</sup> 등을 이용한 습식처리 방법을 통한 다양한 표면개질 처리에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 또한 고온 어닐링 및 고습 분위기 처리 등의 후속 공정에 따른 금속과 폴리이미드 간의 접합력과 화학결합의 변화에 대한 많은 연구<sup>10-12)</sup>가 진행되어 왔으나, 금속과 폴리이미드 간의 화학결합 메커니즘 및 계면 반응과 접합력과의 관계 등에 대해서는 아직까지 명확하게 보고되지 않은 상황이다. 저자 등은 기존의 연

\*Corresponding author. E-mail : schwein@kitech.re.kr

구<sup>13</sup>)에서 구리 도금 피막을 상온 시효처리할 경우 시간에 따른 접합력 변화가 발생하는 것을 보고하였다. 그리고 동일한 시간의 시효처리를 진행한 샘플간에도 시효처리 시점에 따라 무전해 구리도금막 형성 후에 진행한 샘플이 전해 구리도금막을 형성한 후에 진행한 샘플에 비하여 더 높은 접합력을 나타내는 것을 확인하였다. 특히, 이러한 시효처리 시점에 따른 접합력의 차이는 전해 도금 시 인가되는 전류의 영향이라고 보고하였다. 그러나 현재까지 전류 인가량 및 인가시간이 접합력에 미치는 효과는 보고되지 않은 상황이다.

본 연구에서는 폴리이미드 기판 위에 무전해 및 전해 구리도금막 형성후 시효처리를 수행한 후 추가적으로 인가된 전류가 접합력에 미치는 효과에 대하여 고찰하였다. 이를 위하여 인가 전류량 및 전류 인가 시간을 변화시키면서 접합력의 변화를 조사하였으며, 이에 대한 해석을 위하여 표면 거칠기, 표면조직 등을 관찰하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 구리 도금 피막 형성

폴리이미드 필름은 pyromellitic dianhydride-oxydianiline(PMDA-ODA)을 단량체로 한 미국 DuPont사의 Kapton HN 50  $\mu\text{m}$  필름을 사용하였다. 표면 개질 공정은 에칭, 수세, 중성화, 수세, 촉매, 수세, 활성화, 수세의 순서로 진행하였으며, 마지막으로 개질된 폴리이미드 표면에 무전해 구리도금을 수행하였다. 표면개질 공정의 경우, 1.0 M KOH와 0.9 M EDA 혼합용액을 사용하여 처리 하였으며, 50°C로 온도를 고정하고 5분간 처리하였다. 중성화 공정은 0.2 M HCl에서 5분간 처리하였으며, 촉매와 활성화 공정은 SnCl<sub>2</sub>와 PdCl<sub>2</sub>를 이용하여 실온에서 각각 4분, 2분간 처리하였다. 개질된 폴리이미드 필름에 황산구리 용액(10 g/l)에 포름알데히드(20 ml/l)를 환원제, 루셀염(50 g/l)을 착화제, 수산화나트륨을 pH 조절제로 첨가한 구리 도금액을 사용하여 pH12.5에서 10분간 도금을 수행하였다. 접합력 평가를 위하여 무전해 도금을 수행한 시편에 전기 도금을 추가적으로 수행하였으며, 전기도금은 CuSO<sub>4</sub> 용액에 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl과 첨가제를 넣고 교반시킨 후 전류밀도는 25 mA/cm<sup>2</sup>, 극간거리는 2.5 cm로 유지하고 20분간 실시하여 구리 도금 피막의 두께를 10  $\mu\text{m}$ 로 증가시켰다.

### 2.2 전류 인가 및 접합력 평가

전류 인가 전 후의 접합강도를 평가하기 위하여,

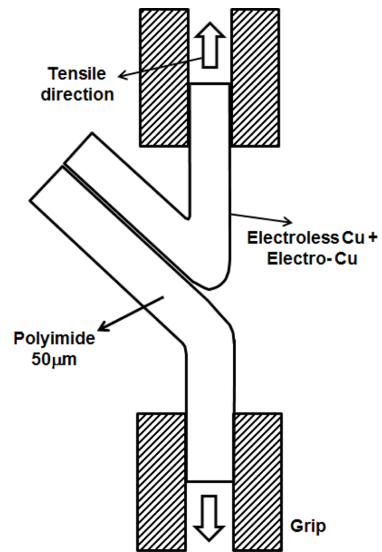


Fig. 1. Schematic diagram of 180° peel test.

1 kW Pulse Source Meter(Keithley)를 사용하여 0.1 mA, 1 mA, 10 mA 및 100 mA의 직류 정전류를 5 cm × 10 cm × 10  $\mu\text{m}$ 의 구리 도금 피막에 (width × length × thickness) 1분, 10분 및 30분 간 인가하였다. 그리고 Universal Testing Machine(Instron 3344)을 사용하여 T-Peel test(180° peel) 방법으로 crosshead 속도 50.8 mm/min 하에서 폴리이미드 필름과 구리 도금 피막 간의 접합력을 측정하였다(그림 1). 접합력 평가는 각 조건별로 3개 이상의 샘플에 대하여 진행하였다.

### 2.3 접합력 평가 후 샘플 분석

FE-SEM(Field Emission - Scanning Electron Microscopy, Sirion, FEI)을 사용하여 peel 테스트 후의 폴리이미드 및 구리 표면형상을 관찰하였다. 또한 접합력과 peel 테스트 후의 폴리이미드 표면 거칠기와의 관계를 고찰하기 위하여 AFM(Atomic Force Microscopy, Nano-R, Pacific nanotechnology Inc.)을 이용하여 10  $\mu\text{m}$  × 10  $\mu\text{m}$ 의 면적의 표면조도 Ra (average) 및 RMS(Root Means Square) 값을 측정하였다. Peel 테스트 후에 박리된 샘플 표면의 성분 및 결합구조를 확인하기 위하여 XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy, Multilab 2000, Thermo VG Scientific)를 사용하였으며, Al-K $\alpha$ (1486.6 eV)을 사용하여 C1s의 C-C 결합(284.5 eV)을 기준으로 피크를 보정하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 전류 인가에 따른 접합력의 변화

전류 인가가 구리 도금 피막과 폴리이미드 필름

간의 접합력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 peel 테스트를 진행하였다. 전류를 1분간 0.1 mA에서 100 mA까지 변화시키면서 인가한 경우의 접합강도 변화는 그림 2(a)에, 10 mA의 전류 인가 시간을 1분에서 30분까지 변화시킨 경우의 접합강도 변화는 그림 2(b)에 나타내었다. 비교를 위하여 전류를 인가하지 않은 샘플의 접합력을 그림 2(a)와 그림 2(b)에 함께 나타내었다. 그림 2(a)는 구리 도금 피막에 1분간 전류를 인가한 샘플로 접합력은 0.1 mA인 경우 557 gf/cm에서 10 mA인 경우 614 gf/cm까지

증가하다가 100 mA인 경우 596 gf/cm로 소폭 감소하는 경향을 나타내었다. 그리고 인가한 전류량에 상관없이 1분간 전류를 인가한 경우에는 전류를 인가하지 않은 샘플의 접합력 562 gf/cm 대비 접합력이 변화 없거나 증가한 것으로 나타났다. 그러나 그림 2(b)에 나타난 바와 같이 10 mA의 전류를 10분 이상 인가한 샘플의 경우 접합력이 감소하기 시작하여 30분간 전류를 인가한 경우 접합력이 521 gf/cm로 전류를 인가하지 않은 샘플보다 저하된 접합력을 나타내는 것을 확인하였다.

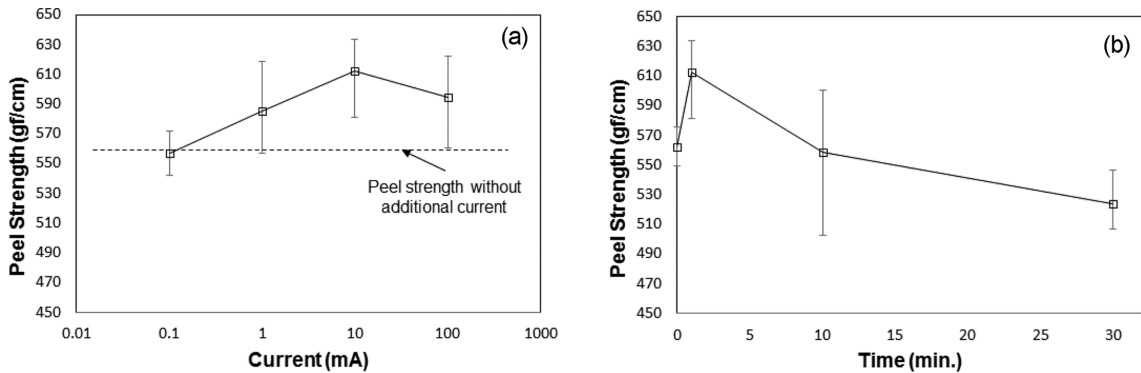


Fig. 2. Peel strength between copper and polyimide films (a) as a function of the amount of applied electrical current for 1 minute and (b) as a function of period of 10 mA of applied electrical current. A dotted line denotes the peel strength of samples without additional current.

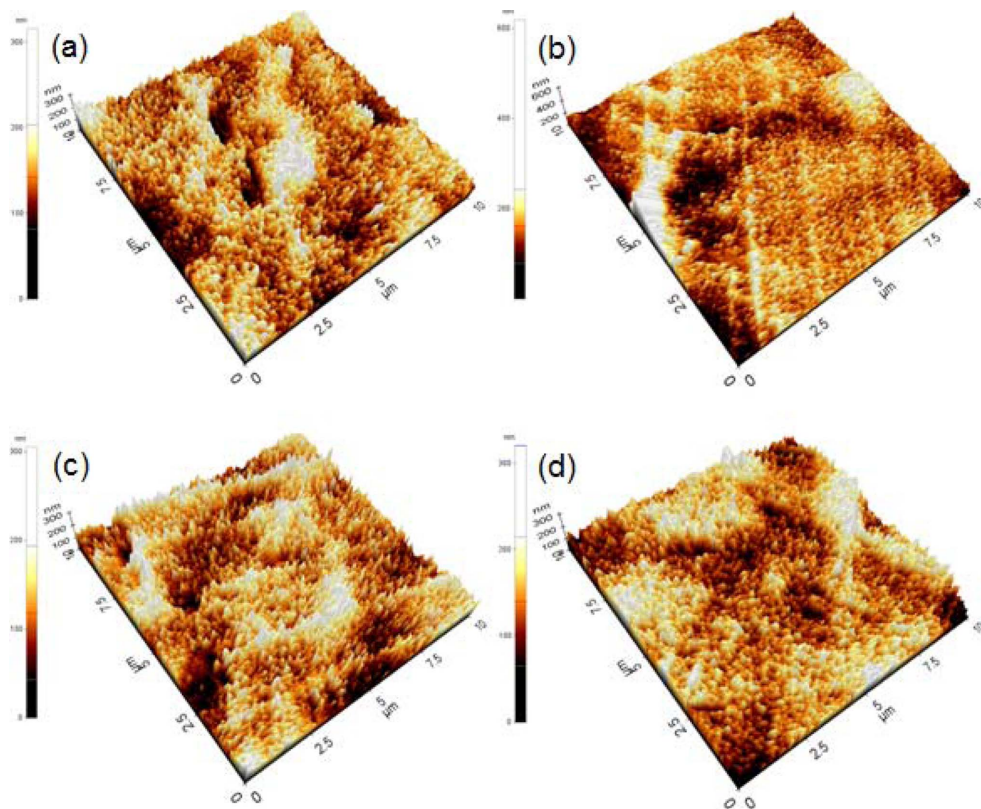


Fig. 3. AFM images of the peeled polyimide surfaces with various applied electrical current: (a) 0.1 mA, (b) 1 mA, (c) 10 mA and (d) 100 mA.

3.2 전류 인가에 따른 peel 테스트 후의 표면 거칠기 접합력의 변화와 peel 테스트 후의 폴리이미드 표면 상태와의 관계를 조사하기 위하여 표면 거칠기 변화를 관찰하였다. 그림 3은 0.1 mA, 1 mA, 10 mA,

100 mA의 전류를 인가한 후 peel 테스트를 수행한 후에 AFM을 이용하여 폴리이미드 표면의 거칠기를 관찰한 결과이다. 인가 전류 변화에 따른 표면 형상의 변화는 관찰되지 않았으나, 인가 전류의 증

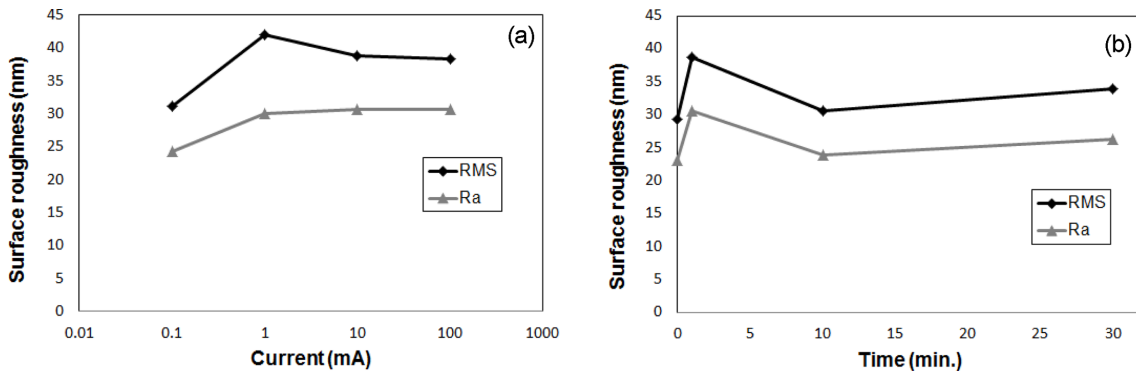


Fig. 4. Surface roughness (RMS and Ra) of the peeled polyimide (a) as a function of the amount of applied electrical current for 1 minute and (b) as a function of period with 10 mA of applied electrical current.

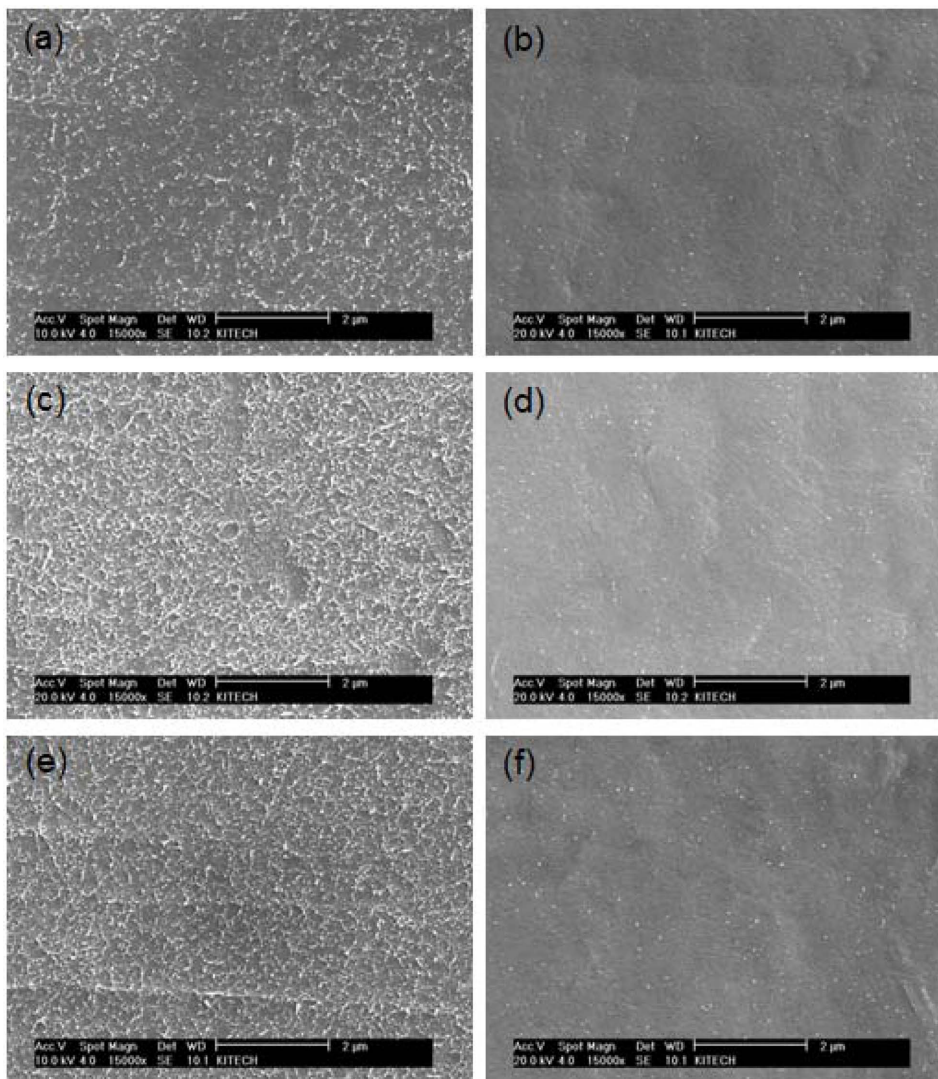


Fig. 5. FE-SEM images of the peeled polyimide ((a), (c), (e)) and copper ((b), (d), (f)) surfaces as a function of period with 10 mA of additional electrical current; (a), (b) 1 minute, (c), (d) 10 minutes and (e), (f) 30 minutes.



가에 따른 표면 거칠기의 증가가 확인되었으며, 전류 인가량 변화에 따른 Ra 값 및 RMS 값을 그림 4(a)에 나타내었다. 인가 전류가 0.1 mA인 경우 Ra 값 및 RMS 값은 각각 24.3 nm 및 31.0 nm를 나타내었으나, 인가 전류가 1 mA 이상인 경우 30 nm 이상의 Ra 값 및 38 nm 이상의 RMS 값을 나타내었다. 접합력 평가 후의 표면조도 값은 폴리이미드 기판을 전처리한 후의 표면조도 Ra 값 2.2 nm 및 RMS 값 3.1 nm 대비 상당히 높은 것으로 나타내었으며, 이는 구리 도금막과 폴리이미드 간의 접합력이 우수했기 때문으로 판단된다. 그리고 전류 인가 시간에 따른 표면 형상을 AFM을 이용하여 관찰한 결과, 인가 전류량을 변화시킨 경우와 같이 표면 형상의 변화는 관찰되지 않았다. 그러나 전류 인가 시간이 증가함에 따라 표면 거칠기가 다소 감소하는 것으로 나타났으며, 그림 4(b)에 나타내었다. 10 mA의 전류를 1분간 인가한 경우 Ra 값 및 RMS 값은 30.6 nm 및 38.7 nm를 나타내었으나, 전류 인가 시간이 10분 이상인 경우 각각 25 nm 및 32 nm 이하의 값을 나타내었다.

3.3 전류 인가에 따른 peel 테스트 후의 표면 관찰

그림 5는 Peel 테스트 후에 폴리이미드 및 구리 도금 피막의 표면을 FE-SEM으로 관찰한 결과이다. 전류 인가 시간의 변화에 따른 폴리이미드 표면을 관찰한 결과는 그림 5의 (a), (c), (e)에, 구리 표면을 관찰한 결과는 그림 5의 (b), (d), (f)에 나타내었다. Peel 테스트 후의 폴리이미드 표면은 전류 인가 시간에 관계없이 연성이 좋은 폴리머 재료가 파괴될 때 주로 발생하는 컵-콘 형태의 연성파괴 표면형상<sup>14)</sup>을 나타내었으며, 구리 도금 피막의 경우에는 전류 인가 시간에 관계없이 소성변형으로 인한 굴곡<sup>15)</sup>이 시편 전체적으로 관찰되었다. 그리고 전류를 인가하지 않은 샘플과 인가 전류의 양을 변

화시킨 샘플 모두에서 비슷한 표면 조직이 관찰되었다. Peel 테스트 후의 구리 표면조직을 관찰하기 위하여 XPS 분석을 진행하였으며, 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 전류 인가 여부, 전류 인가량의 변화 및 전류 인가시간의 변화에 관계없이 모든 경우에 구리 파면의 표면에서 다량의 폴리이미드 성분 (C, N, O)이 검출되었으며 구리는 1% 이하로 검출되었다. 이는 구리 파면의 표면을 대부분 폴리이미드가 덮고 있다는 것을 의미한다. 따라서 모든 샘플의 peel test 시 폴리이미드 내부에서 파면이 형성되는 cohesive 파괴가 진행되어 샘플 간 파괴모드의 변화가 없었기 때문에 그림 5에서와 같이 표면 조직상의 차이가 관찰되지 않은 것으로 판단된다.

4. 고 찰

구리 도금 피막과 폴리이미드 사이의 접합력과, peel 테스트 후의 폴리이미드 표면 거칠기 간의 관계를 확인하기 위하여 접합력에 따른 표면 거칠기 변화를 그림 7에 나타내었다. 그림 7을 보면 RMS 값과 Ra 값 모두 접합력 값에 비례하는 것으로 나타났으며, 표면 거칠기가 큰 샘플의 경우 접합력 평가 시 폴리이미드 내에서 파괴가 진행되면서 파단될 면적이 증가하였기 때문에 접합력이 증가된 것으로 판단된다. 이상의 결과는 Noh 등이 FCCL (Flexible copper clad laminate) 샘플을 이용하여 열처리 시간 및 온도를 변화시키면서 접합력을 평가한 결과, 열처리 시간 및 온도를 증가시킴에 따라 구리와 폴리이미드 간의 접합력이 저하되고 peel 테스트 후의 폴리이미드 표면 거칠기가 감소한다고 보고한 연구결과와 일치한다<sup>16)</sup>. 그러나 30분간 전류를 인가한 샘플의 경우 접합력 저하 대비 조도감소가 적게 나타났으며, 이에 대한 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

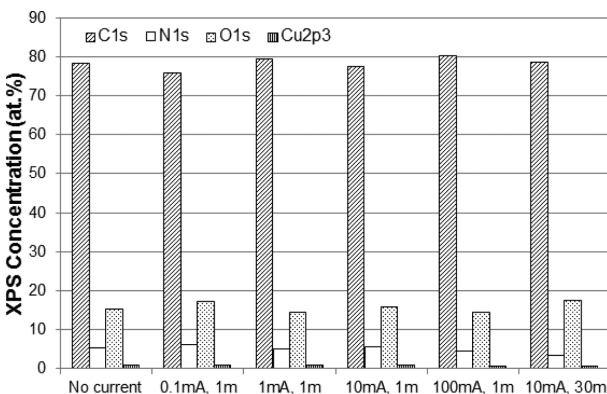


Fig. 6. XPS atomic concentration of the peeled copper surface with various applied electrical current.

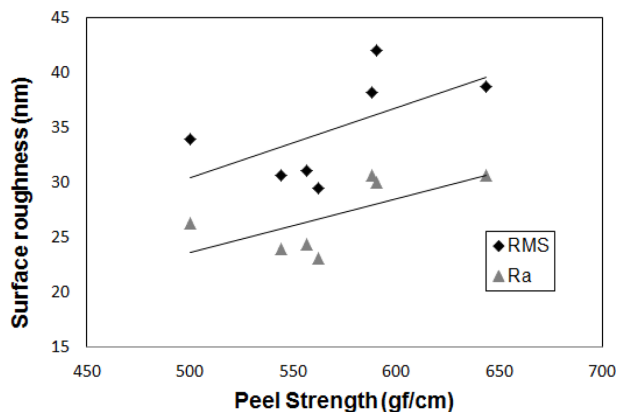


Fig. 7. Relationship between surface roughness and peel strength.

저자 등은 기존의 연구<sup>13)</sup>에서 무전해 도금 및 전해도금 후 시효시간에 따른 접합 강도 변화를 확인하기 위하여 peel test를 진행한 결과, 무전해 구리와 폴리이미드 층 사이의 접합력은 시효처리 초기에 급격히 증가하며 1일 이후에는 포화되는 것으로 보고하였다. 또한 총 시효시간이 같은 샘플이라도 시효시점에 따라 peel 강도가 다른 것을 확인하였으며, 전해도금을 나중에 한 샘플일수록 높은 peel 강도를 나타내는 것을 보고하였다. 특히 구리 도금 피막의 시효처리 시점에 따른 접합력의 변화는 전해 구리 도금공정 중에 인가된 전류의 효과라고 보고하였다. 또한 Li 등은 기존의 연구에서 인가된 전류로 인하여 발생한 전자와 금속 원자 간의 충돌이 활성화 에너지에 영향을 줄 수 있다고 보고하였다<sup>17)</sup>. 따라서 전류 인가 시 발생하는 전자와 구리 원자

간의 충돌이 구리와 폴리이미드 간의 Cu-N-O, Cu-O-C 등 화학결합<sup>18,19)</sup> 또는 산화물 등의 반응물을 형성할 수 있는 활성화 에너지를 공급하였기 때문에 전류 인가 시 구리 도금 피막과 폴리이미드 간의 접합력 변화가 발생한 것으로 생각된다. 그림 8은 전류를 인가하지 않은 샘플, 10 mA의 전류를 1분간 인가한 샘플 및 10 mA의 전류를 30분간 인가한 샘플의 구리 표면에서 검출된 Cu2p XPS 스펙트럼을 나타낸 것이다. 10 mA의 전류를 1분간 인가한 샘플의 경우 전류를 인가하지 않은 샘플에 비하여 Cu-O 결합의 peak 강도가 Cu peak의 강도 대비 매우 증가하였으며, 10 mA의 전류를 30분간 인가한 경우 1분간 인가한 샘플 대비 Cu-O 결합 peak 강도가 Cu peak의 강도 대비 다소 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 전류 인가는 Cu-O 결합을 촉진하는 것으로 판단된다. 이러한 이유로 인하여, 그림 2(a)의 경우 인가 전류가 0.1 mA로 낮은 경우에는 구리와 폴리이미드의 dangling 결합 간의 화학결합 및 산화물 형성을 촉진하기에 전자의 양이 부족하여 접합력 변화가 거의 나타나지 않았고, 1 mA 이상의 전류를 인가한 경우에는 화학결합 및 산화물 형성이 촉진 되어 접합력이 전류를 인가하지 않은 경우 대비 높은 값을 나타낸 것으로 판단된다. 그러나 그림 2(b)에서 10 mA의 전류를 10분 이상 인가할 경우 오히려 접합력이 저하되는 것으로 나타났다. 따라서 일정량 이상의 전류를 인가할 경우 인가된 전류로 인하여 구리와 폴리이미드 간의 화학결합 및 반응물 형성은 촉진되나, 인가 시간이 길어질 경우 인가된 전류로 인하여 발생한 열 등으로 인하여 계면에 구리 산화물 등이 다량 형성되어 오히려 접합력이 저하된 것으로 판단된다<sup>10-12,20)</sup>.

이상의 결과로부터 전류인가에 따른 구리 도금 피막과 폴리이미드 간의 화학결합 상태를 간략하게 도식하면 그림 9과 같이 제시될 수 있다. 그림 9의 (a)는 전류를 인가하지 않은 샘플, (b)는 전류를 인가한 샘플의 경우를 도식한 것이다. 구리 도금 피막 형성 후에 발생한 화학결합 및 산화물 형성은 적절한 전류 인가 시 밀도가 증가되어 접합력의 개선을 가져오나, 위에서 설명한 바와 같이 필요 이상의 전류를 인가하거나 일정시간 이상 전류를 인가한 경우 계면에 구리 산화물 등이 다량 형성되어 오히려 접합력을 저하시키는 것으로 판단된다. 그러나 전류 인가 시 계면에 형성되는 반응물 혹은 발생하는 화학결합 등의 메카니즘 규명을 위해서는 추가 실험 및 분석이 필요한 것으로 판단되며 현재 진행 중이다.

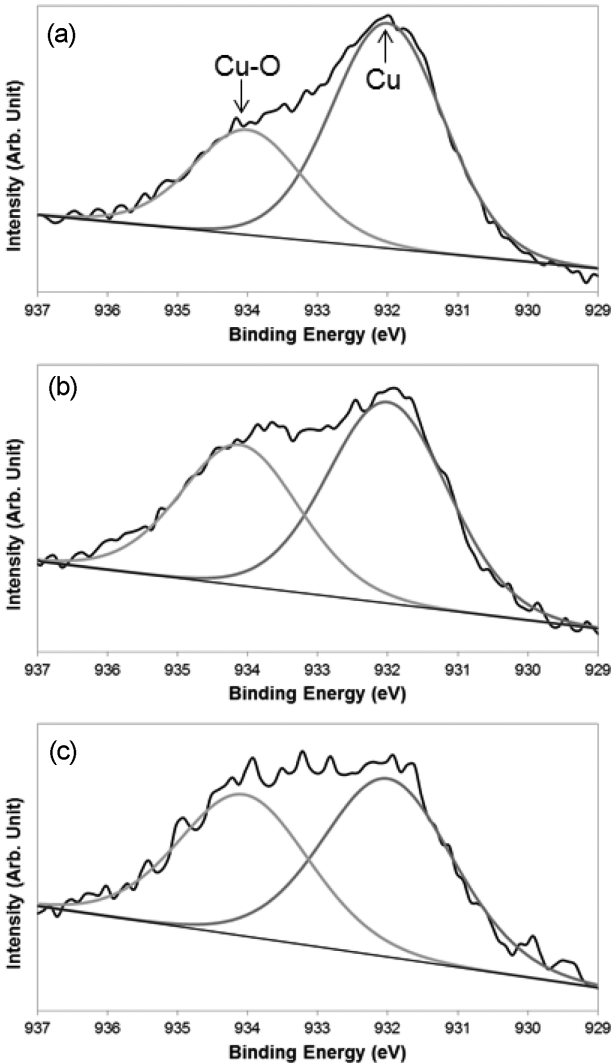


Fig. 8. Cu2p XPS spectra of the peeled copper surface (a) with no additional current, (b) with 10 mA of applied electrical current for 1 minute and (c) with 10 mA of applied electrical current for 30 minutes.

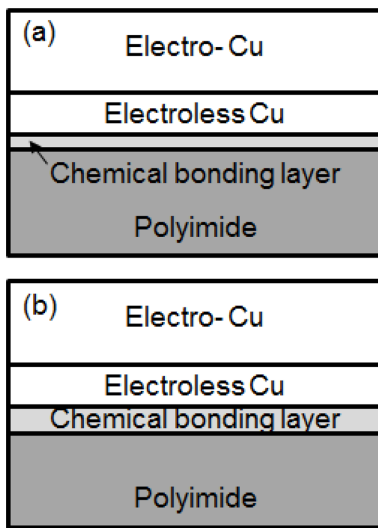


Fig. 9. Schematic diagram of the interface between copper and polyimide films (a) with no additional current and (b) with additional electrical current.

### 5. 결 론

본 연구에서는 인가 전류가 폴리이미드 필름과 무전해 구리 도금 피막 사이의 접합력 특성에 미치는 영향에 관하여 고찰하였다. 샘플에 0.1~100 mA 범위의 전류를 1분간 인가한 후에 peel 테스트를 진행한 결과 접합력은 인가한 전류량에 상관없이 전류를 인가하지 않은 샘플에 비하여 변화가 없거나 증가한 것으로 나타났다. 그러나 10 mA의 전류를 30분간 인가한 샘플의 경우에는 오히려 접합력이 저하되는 것을 확인할 수 있었다. AFM 관찰 결과, 인가 전류량 및 시간에 따라 peel 테스트 후의 표면형상 변화는 관찰되지 않았으나, 표면 거칠기와 접합력은 비례하는 것으로 나타났다. 구리 도금 피막 형성 후에 적절한 전류의 인가는 구리와 폴리이미드 간의 화학결합 밀도를 증가시켜 접합력을 개선하는 것으로 판단되나, 일정량 이상의 전류를 인가하거나 일정 시간 이상 전류를 인가한 경우에는 계면에 구리 산화물 등의 반응물 형성을 촉진하여 접합력을 저하시키는 것으로 생각된다. 이상의 전류인가를 통한 접합력 향상 결과는 현재 IT 분야에서 각광받고 있는 연성 인쇄기판 및 플렉시블 디스플레이 전극형성 등의 분야에서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 후 기

본 논문은 지식경제부 산업융합원천기술개발사업

으로 지원된 연구결과입니다(10039210, 고속전송용 40 μm 피치급 플렉서블 PCB 소재 및 공정기술 개발).

### 참고문헌

1. G. Rabilloud, High Performance Polymers: Polyimides in Electronics, Technip, Paris, 2000.
2. M. Crosh, K. Mittal, Polyimides: Fundamentals and Applications, Marcel Dekker, New York, 1996.
3. Y.-S. Lin, H.-M. Liu, C.-L. Chen, Surf. Coat. Technol. 200 (2006) 3775.
4. S. H. Kim, S. W. Na, N.-E. Lee, Y. W. Nam, Y.-H. Kim, Surf. Coat. Technol. 200 (2005) 2072.
5. A. Ebe, E. Takahashi, Y. Iwamoto, N. Kuratani, S. Nishiyama, O. Imai, K. Ogata, Y. Setsuhara, S. Miyake, Thin Solid Films 281-282 (1996) 356.
6. S. H. Kim, J. K. Park, K. S. Oh, J. Kor. Fiber Soc. 31 (1994) 57.
7. S. Ikeda, H. Yanagimoto, K. Akamatsu, H. Nawafune, Adv. Funct. Mater. 17 (2007) 889.
8. L.-S. Son, H.-N. Lee, H. K. Lee, J. Kor. Inst. Surf. Eng. (2012) 8.
9. H. K. Yun, K. Cho, J. K. Kim, C. E. Park, S. M. Sim, S. Y. Oh, M. Park, Polymer 38 (1997) 827.
10. H. J. Lee, J. Yu, J. Electron. Mater. 37 (2008) 1102.
11. B. K. Furman, K. D. Childs, H. Clearfield, R. Davis, S. Purushothaman, J. Vac. Sci. Technol. A 10 (1992) 2913.
12. S. A. Chambers, V. A. Loebs, K. K. Chakravorty, J. Vac. Sci. Technol. A 8 (1990) 875.
13. H.-N. Lee, Y. Han, J.-H. Lee, J.-Y. Hur, H. K. Lee, submitted.
14. K.-J. Min, S.-C. Park, J.-J. Lee, K.-H. Lee, G.-H. Lee, Y.-B. Park, Journal of the Microelectronics & Packaging Society 14 (2007) 49.
15. K.-J. Min, S.-C. Park, Y.-B. Park, K. H. Lee, Y. Jeong, J. Korean Phys. Soc. 54 (2009) 1273.
16. B.-I. Noh, J.-W. Yoon, J.-H. Choi, S.-B. Jung, Microelectronic Engineering 88 (2011) 718.
17. Y. Li, Y. Yang, X. Feng, J. Mater. Sci. Technol. 24 (2008) 410.
18. W.-J. Lee, Y.-S. Lee, S.-K. Rha, Y.-J. Lee, K.-Y. Lim, Y.-D. Chung, C.-N. Whang, Appl. Surf. Sci. 205 (2003) 128.
19. J.-Y. Park, Y.-S. Jung, J. Cho, W.-K. Choi, Appl. Surf. Sci. 252 (2006) 5877.
20. S. Iwamori, T. Miyashita, S. Fukuda, S. Nozaki, N. Fukuda, K. Sudoh, J. Adhesion 63 (1997) 309.