

# 초고속 대면적 표면 처리 장치가 부착된 300 mm 폭 연성 동박적층 필름 제작용 진공 웹 코터

최형욱<sup>1</sup>·박동희<sup>1</sup>·김지환<sup>1</sup>·최원국<sup>1\*</sup>·손영진<sup>2</sup>·송범식<sup>3</sup>·조 정<sup>4</sup>·김영섭<sup>4</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술연구원, 박막재료연구센터, 서울 136-791

<sup>2</sup>삼원진공주식회사, 경기 415-881

<sup>3</sup>넥센 코리아 주식회사, 451-861

<sup>4</sup>도레이새한 주식회사, 서울 121-721

(2007년 1월 2일 받음)

저에너지 초고속 표면 처리 이온원, 4개의 마그네트론 스퍼터 캐소드가 부착된 300 mm 폭 다목적 연성 기판 제작을 위한 부피 800 L 용량의 진공 웹코터 원형 (prototype) 장비를 설계 제작하였고, 무접착제 2층 연성 동박 적층 필름을 제작하여 성능을 평가하였다. 2 개의 터보 펌프 및 폴리롤드를 장착한 비코팅 부분인 상실부와 각각 1개씩의 터보 펌프를 사용한 표면 처리 및 코팅 부분인 하실부의 진공 배기 특성을 측정하였다. 패러데이 컵을 사용하여 대면적 이온원의 이온 전류 밀도 및 균일도를 측정하고, 스퍼터 캐소드의 자기장 분포 및 타겟 사용 효율을 조사하였다. 진공 웹코터의 성능 및 각 구성 요소의 특성 조사를 위하여 연성 기판으로는 폴리이미드 (Kapton-E) 38  $\mu\text{m}$ 를 사용하여 여러 가지 가스 이온에 대한 표면 처리 조건에 따른 증류수의 접촉각 변화와 화학 성분의 변화를 x-선 분광학을 사용하여 조사하였다. 고밀도 2층 연성 동박 적층 필름 기판을 스퍼터-전기 도금법으로 제작하기 위하여 스퍼터 타겟으로는 Ni-Cr 및 Cu 금속을 사용하여, 각각의 증착율을 직류 전력의 변화 및 물의 속도에 따라 조사하였고, 전기 도금으로 9  $\mu\text{m}$  까지 동박 적층 필름을 제작한 후 접착력 및 내열성, 내화학성을 측정하여 소형 진공 웹 코터의 특성을 조사하였다.

주제어 : 연성 동박적층 필름, 웹 코터, 이온빔

## I. 서 론

최근 유리, 실리콘 기판을 근간으로 한 전자 산업 재료, 부품들 분야에서 일반적으로 경박, 단소, 저렴한 가격 및 대면적화가 요구됨에 따라 기판을 고분자로 대체하는 연성 전자 공학 (flexible electronics) 기술이 급속히 발전하고 있다[1-4]. 기존의 단순한 포장재 코팅, 자성테이프, 필름 콘덴서 재료 이외에, 터치 패널 및 유기 발광소자 디스플레이 이용 투명 전도막 필름의 제작이 활발히 이루어지고 있으며, 고밀도 연성 회로 기판을 비롯한, 연성 태양 전지, 연성 박막전지, 고기능성 섬유 코팅 등의 분야로 급속도로 발전이 이루어지고 있는 상황이다. 이러한 유연 기판인 고분자를 이용하고 고기능성 재료의 개발을 위해 연속 진공 웹 코팅 (또는 롤투롤) 코팅 방식이 개발되어 지고 있다. 국외에선 독일의 Applied Films, Von Ardenne, Leybold Optics, 영국의 General Vacuum, 일본의 Ulvac, 미국의 Bekaert, CPF, Southwall, 리투아니아의 Sidrabe 등의 진공 웹코터 제작 업체 등이 잘 알려져 있고, 이 중 특히 최근 Applied

Films사는 고분자 기판위에 연성 회로 기판, 투명전극, 리튬 배터리의 양극 박막 증착등이 모두 가능한 SMARTWEB™ 과 같은 원형(prototype)의 진공 롤코터를 제작 생산하고 있다[5]. 진공 롤투롤 (roll-to-roll) 증착 장비는 대부분이 감기롤 (winding roll)과 풀기롤 (unwinding roll) 세트와 터치롤, 확장롤 및 냉각 드럼으로 구성된 롤 부분과 증착 진공 장비 부분으로 구성된다. 코팅 부분과 비코팅 부분은 주로 상하로 분리되어 있다. 비코팅 부분에서는 고분자 필름이 포함하고 있는 수분을 제거하는 열처리 부와 전처리 공정 등이 포함되어 있다.

본 연구에서는 연성 전자 공학 (flexible electronics) 산업의 주요 기판소재 제작 공정인 진공 웹코팅 장비 제작을 통한LCD의 패널과 소스 및 게이트 IC의 배선재료인 COF (chip on flex)용 고밀도 2층 연성 동박 적층 필름을 개발하고자[6,7], 제작된 원형 진공 롤코터의 배기 특성, 이온원의 표면 처리 특성 및 DC 마그네트론 스퍼터의 특성 및 제작된 FCCL의 박막의 특성을 연구하였다.

\* [전자우편] wkchoi@kist.re.kr

## II. 실험장치

Fig. 1은 진공 웹코터의 배기 시스템과 가스 공급 시스템을 표시하는 개략도이다. 웹코터의 초기 진공은 로타리 펌프(Edwards : E2M175)와 부스터 펌프(Edwards : EH500)를 이용하여 저진공까지 배기하며, 상실부는 2개의 터보 펌프(Seiko Seiki: STP2000, Pfeiffer : TMP 2000)로 고진공까지 배기 할 수 있도록 설계, 제작되었다. 상실부 비코팅 부분은 고분자 필름이 풀릴 때 필름 사이에 포획된 수분의 흡착을 유도하여 초기 진공도 유지를 위해  $-137^{\circ}\text{C}$  (Model 명: PFC 1000 HC) 까지 온도 강하가 가능한 폴리콜드 (용량 :  $80,000 \text{ l/sec}$ ) 가 부착되어 있다. 그 하단 부분에는 고분자 표면 개질을 위하여 300 mm 유효 처리 폭을 가지는 긴 가속단(long-acceleration column)을 가지는 전자-홀 표류 (electron-Hall drift) 직선형 이온원이 부착되어 있다. 롤의 구성은 3 인치 터치를 한 쌍을 사용하였으며, 9개의 아이들 롤과 주름 방지용으로 2개의 여분의 확장롤을 사용하였고, 중앙 하단 부분에는 원주가 1.4 m 인 냉각드럼을 설치하였다. 냉각 드럼용 냉각 펌프는 50

$\text{l/min}$  용량의 칠러 (chiller)를 사용하여 필름을 냉각하는데 사용하였다. 풀림 터치롤과 첫 번째 아이들 롤 사이에는 적외선 램프 히터 (200 W)을 사용하여 고분자 기판의 수분 제거를 용이하도록 하였으며, 확장롤 (expander roll)과 4번째 아이들 롤 사이에는 고분자 기판의 표면 처리를 위한 길이 300 mm 이온빔 소스를 100-300 mm 거리로 유지할 수 있도록 설치 공간을 확보하였다. 하실부의 이온원 부분에는 터보 펌프 (KiKi,  $450 \text{ l/sec}$ )를 부착하였으며, 스퍼터 부분은 각각 트로틀 밸브를 사용하여 4개의 스퍼터 캐소드 주위의 가스 압력을 개별적으로 조절 가능하도록 제작되었으며, 이 부분의 진공 배기를 위하여는 터보 펌프 (Osaka : TMP1300)를 부착하였다.

Fig. 2는 진공 웹코터의 구성 부품과 필름의 흐름 및 제어 장치를 나타내고 있는 개략도이다. 필름의 흐름 방향을 나타내는 정, 역 방향 표시가 있고, 웹 속도의 조절은 AC Vector Servo motor로 AC Vector Drive를 제어하였으며, 웹의 속도(m/min) 표시는 비주얼 베이직 프로그램을 사용하여 0~10 m/min 내의 속도를 표시할 수 있게 하였다. 필름의 장력 조절은 2개의 로드셀 (load cell)을 이용하여 장

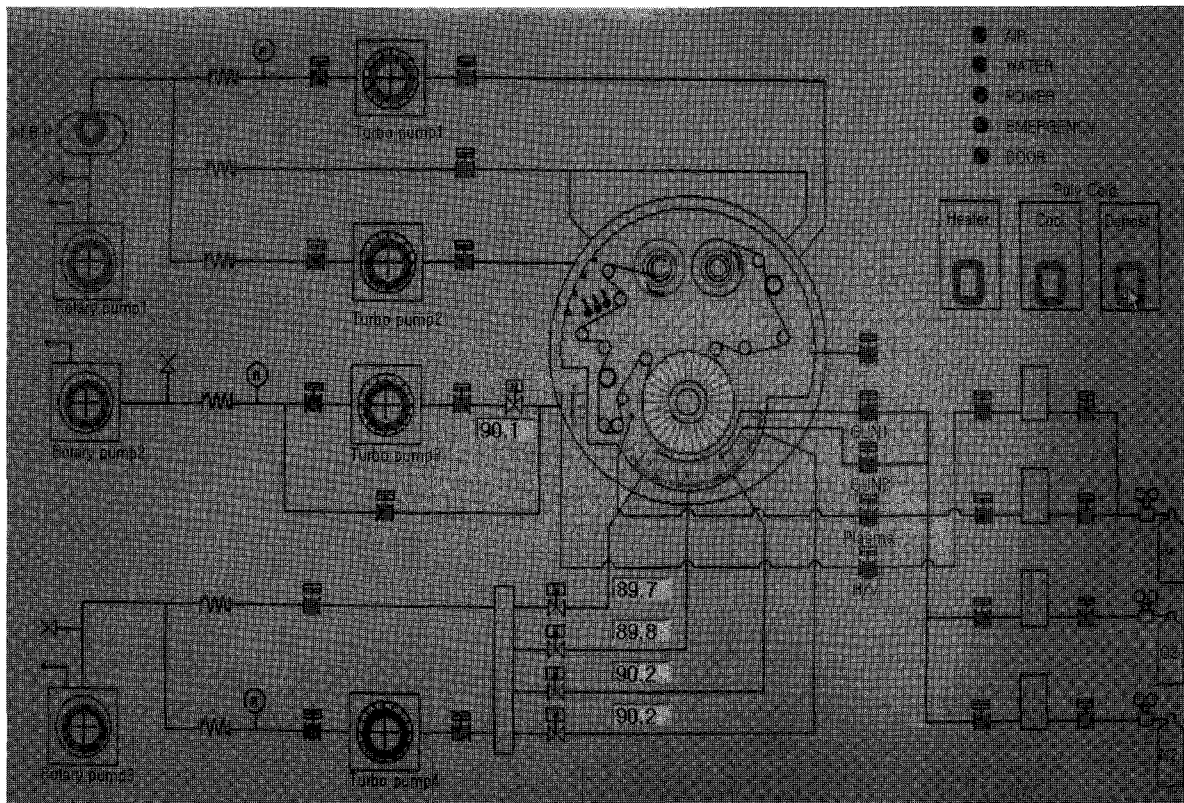


Fig. 1. Schematic diagram of pumping and gas supply system in vacuum web coater

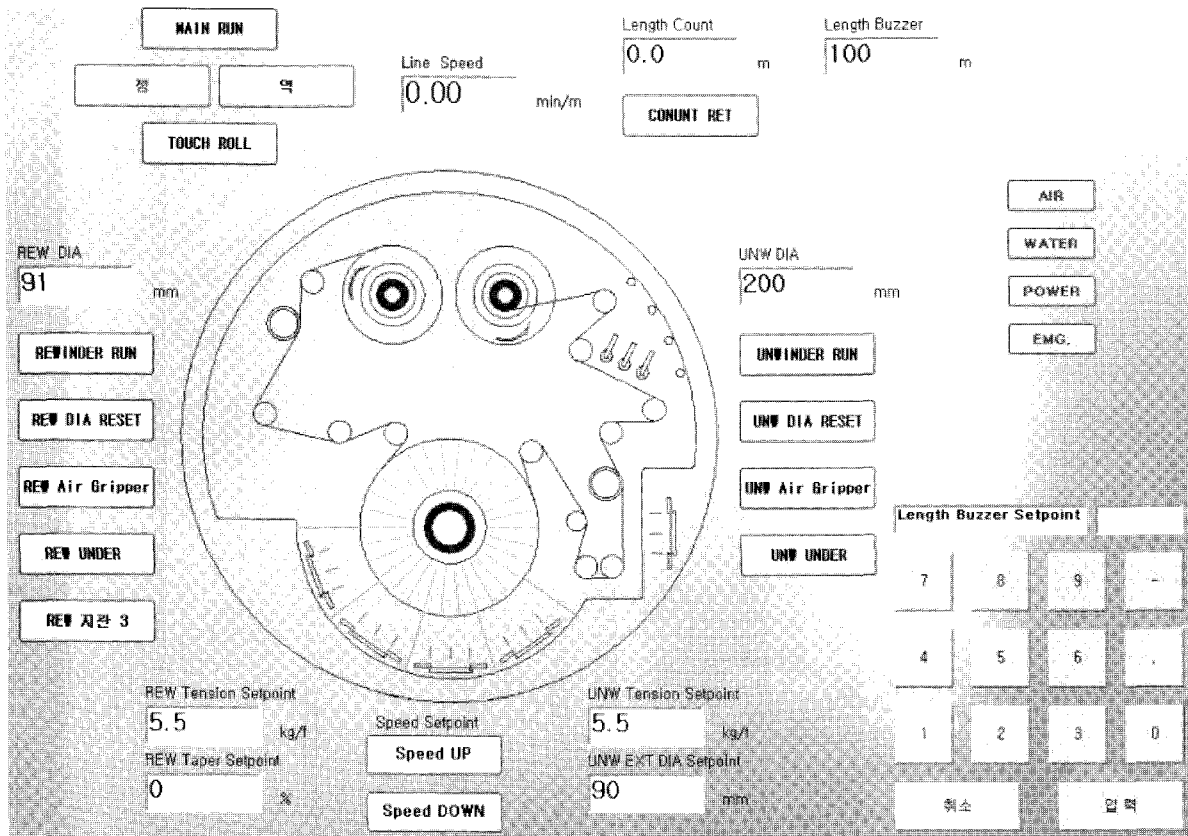


Fig. 2 Schematic diagram for components and film flow control unit of vacuum web coater

력측정기 (tension meter)로 조절하였다.

### III. 실험 및 결과

#### 3.1 배기속도

Fig. 3은 완성된 소형 롤코터 (장비명:Vic Mama)의 실제 외부, 내부 모습을 보여주는 사진이다. 진공조는 직경 (Φ) 1,230 mm×길이 (L) 640 mm의 총 부피가 800 ℓ 인 웹코터로 저진공에서 부터 고진공까지의 배기 속도를 측정 한 결과를 Fig. 4에서 보여주고 있다. 진공 배기 속도는 상 실부, 이온원부, 스퍼터부 등 세 부분으로 나누어 측정하였 고, 로터리 펌프, 부스터 펌프, 터보 펌프 그리고 폴리콜드 작동시로 나누어 측정하였다. Fig. 4에서 보이는바와 같이 로타리 펌프와 부스터 펌프를 작동한 후 약 5분 후에는 모 든 부분에서  $1 \times 10^{-2}$  Torr 이하의 저진공도에 도달하였 으며, 이 때 각각에 연결된 터보 펌프 작동을 시작하면, 19분 정도 후에는 상실부, 이온원부, 스퍼터부에서 각각  $1.4 \times 10^{-5}$  Torr,  $4.4 \times 10^{-5}$  Torr, 그리고  $1.8 \times 10^{-5}$  Torr 정도의

진공도에 이르게 된다. 이 때 상실부의 왼쪽 편에 부착되어 있는 폴리콜드를 작동하면 상실부 쪽에서는 진공도가 급격히  $10^{-6}$  Torr 정도로 향상되고 나머지 부분에서도 서서히 진공도가 좋아지기 시작한다. 폴리콜드 작동 후 15분이 경 과하면 진공도가 안정적으로 포화되기 시작되어 20분 정도 경과 후에는 각각  $2.5 \times 10^{-7}$  Torr,  $7.8 \times 10^{-6}$  Torr, 그리고  $3.7 \times 10^{-6}$  Torr의 고진공도를 달성하게 되어 전체적으로 35분 정도 내에서  $10^{-5}$  Torr 이하의 진공도 달성이 가능하며 부가적으로 폴리콜드 작동시 45분 이내에 상실부는  $10^{-7}$  Torr 영역 그리고 나머지 부분은  $8 \times 10^{-6}$  Torr 이하의 고진공에 도달할 수 있었다.

#### 3.2 이온원의 특성 조사

##### 1) 이온원의 원리

본 실험에서 사용된 이온원은 그리드가 없는 것으로, 가 스를 이온화 시켜 플라즈마를 생성하는 전자 가속부분이 긴 전자-홀 표류 이온원 (Electron-Hall drift ion source with extended acceleration zone)을 사용하였다. 전자-

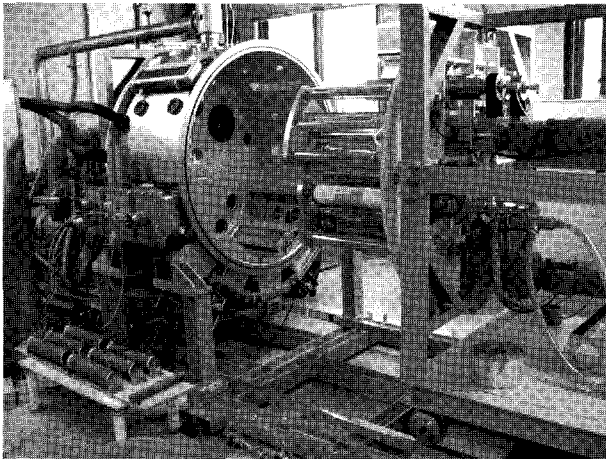


Fig. 3. A whole view of vacuum web coater named as "Vic Mama"

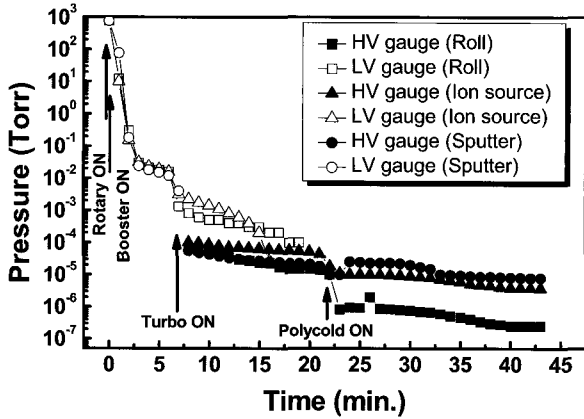
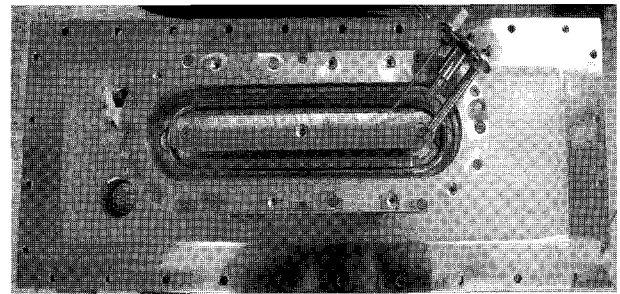
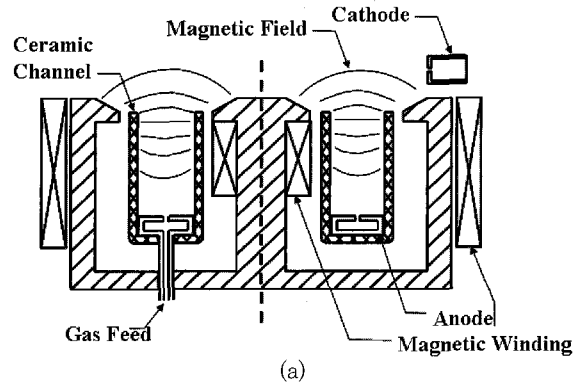
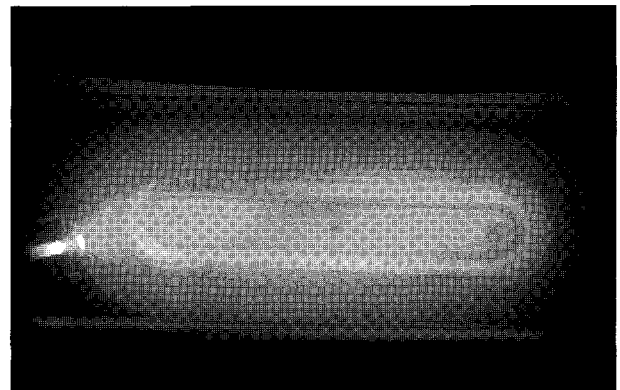


Fig. 4. Pumping speed of "Vic Mama" vacuum web coater (HV:high vacuum gauge, LV: low vacuum gauge)

홀 표류 이온원의 경우 위성의 위치 및 자세 제어용으로 제작된 이온 출력기 형태로 개발되었으며, 음극과 양극 사이의 길이가 짧은 것과 긴 것 두 가지 형태가 있다. 길이가 짧은 경우 음극의 침식 현상으로 인한 이온빔 내의 음극 물질 오염과 짧은 음극 수명에 따른 교환 등의 단점과 고전류 밀도의 이온빔을 생성할 때 평균 이온빔 에너지의 퍼짐성 (energy dispersion)이 커져 정확한 에너지를 추출하여 사용하는 데 부정확한 본질적인 문제점을 가지고 있다. 이에 비하여 Fig. 5에서 보는 바와 같이 가속 부분이 긴 전자-홀 표류 이온원의 경우, 방전관 내부가 스퍼터링 효율이 매우 낮고, 이차 전자 발생율 (secondary electron yield)이 일정한 세라믹 물질로 잘 알려진 질화 보론 (boron nitride) 또는 산화 알루미늄이 포함된 질화 보론으로 제작되어서, 음극으로 부터의 침식에 의한 오염 및 수명 단축 등의 단점



(b)



(c)

Fig. 5. Schematics of electron-Hall drift ion source with long acceleration column (a). Assembled 300 mm linear ion source (b) and the picture of generated Ar plasma (c)

을 배제할 수 있는 특성이 있다.

이온빔 발생 원리는 Fig. 5(a)에서 보는 바와 같이 음극 (cathode)에서 발생한 전자가 양극 (anode)로 향해서 가속 될 때 세라믹 채널의 내부, 외부에 감겨진 전자석에 의해서 세라믹 채널 입구와 내부에 자기장이 형성되게 된다. 이렇게 형성된 자기장을 통과하는 전자는 자기장에 수직인 방향으로 원운동 및 양극으로의 가속 운동이 병행된 나선 회전 (helical motion) 운동을 지속하면서 양극 하단의 가스

유입구에서 부터 흘러 나오는 가스를 이온화 시킨다. 양극으로 가속되는 전자는 가스와의 충돌 또는 세라믹 채널 벽면과의 충돌로 인하여 운동 에너지를 잃게 된다. 한편 이온화된 가스 이온들은 양극 전압에 의해 가속되어 세라믹 채널 밖으로 추출되며 이때 음극에서 발생된 일부 전자는 가속된 이온들의 흐름에 포함되어 이온빔의 중성화에 기여하는 역할을 하게 된다. 이러한 효과로 이온빔이 고분자와 같은 절연체 표면에 조사될시 발생하는 전하 축적 문제를 해결할 수 있다. 이온빔 에너지 ( $E_{ion}$ )는 음극과 양극 사이에 인가된 전압 즉, 방전 전압 ( $V_d$ )과  $E_{ion} \sim (2/3 \sim 3/4)V_d$ 의 관계를 가지고 있다고 알려져 있다 [8,9].

Fig. 5(b)는 웹 코터에 설치하기위해 제작된 300 mm × 100 mm의 선형 이온원의 사진이다. 우측 상변의 전자 발생을 위한 음극이 부착되어 있는 모습이 보이고 있다. Fig. 5(c)는 캐소드에 Ar 가스 유량 5 sccm과 방전관에 10 sccm 유량을 흘려보내면서 캐소드의 인가 전압 90 V, 추출 전자 빔 전류가 1.46 A 이고, 방전 전압 88 V에서 전자석에 흐르는 전류가 7.56 A 일 때 생성된 Ar 가스 플라즈마 및 이온빔의 모습을 보이고 있다.

### 2) 이온 전류 밀도 및 에너지 분포

패러데이 컵을 사용하여 측정된 가속부분인 긴 전자-홀 쌍류 이온원의 Ar 이온빔의 특성을 알아보았다. 패러데이 컵의 구조는 실린더 형태로 제일 바깥쪽은 접지와 연결하였으며 중간에는 그물 모양의 텅스텐 전극을 부착하여 에너지 분석을 위해 저지 전압 (retarding voltage)을 인가할 수 있도록 하였으며, 이를 통과한 이온빔의 전류를 측정할 수 있도록 0.07 cm<sup>2</sup>의 넓이를 가지는 원판 형태의 전극을 사용하였다. 이온 전류 밀도 측정을 위한 패러데이 컵의 위치는 작동 압력이 2×10<sup>-4</sup> Torr 으로 평균 자유 행로 (mean free path)가 확보되는 이온원의 표면에서부터 20 cm 정도 내에서 측정하였다. 음극 주위에 Ar 가스를 흘려보내고 고전압 펄스를 이용하여 점화 (ignition) 시킨 후 약 1.2 A 정도의 전자빔을 발생시켰다. 이 후 Ar 가스를 세라믹 채널 밑 부분에 설치된 양극 역할을 하는 가스관을 통하여 Ar 가스를 4×10<sup>-4</sup> Torr 이하 되도록 흘려내고 이 때의 이온 전류 밀도를 측정하였다.

Fig. 6에서 나타나 있는 것과 같이 방전 전압 230 V에서 측정된 추출된 이온빔의 평균 에너지는 약 180 V 로 방전 전압의 약 78 % 정도에 해당하는 값으로 측정되었다. 에너

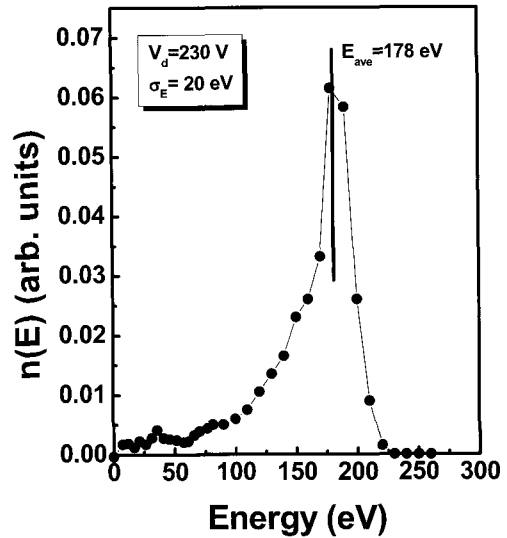
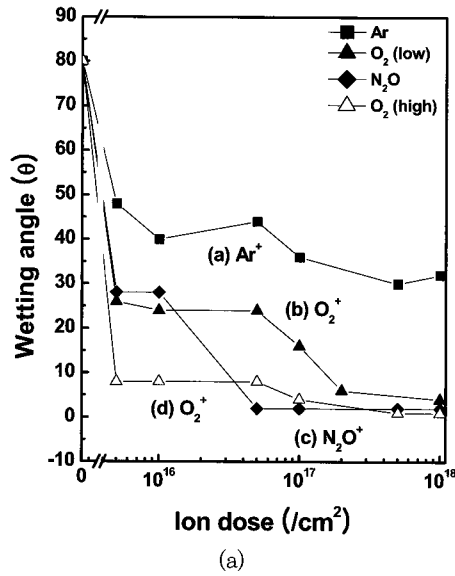


Fig. 6. Average Ar ion beam energy ( $E_{ave}$ ) and energy dispersion ( $\sigma_E$ ) at the discharge voltage  $V_d = 230$  V of electron-Hall drift ion source with long acceleration column

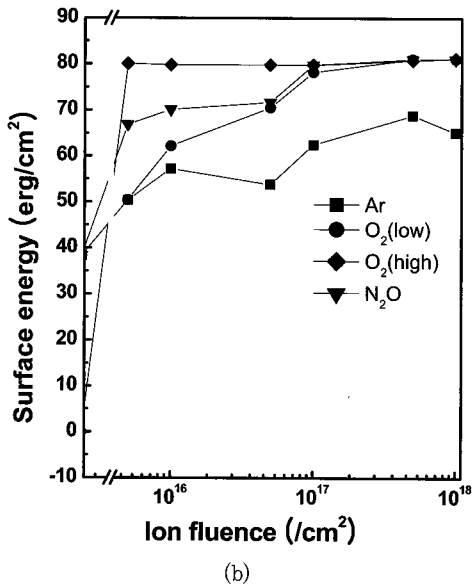
지 분산 정도를 이온빔 에너지 측정 곡선으로부터 추정하여 보면, 최대 이온빔 전류치의 반폭치로부터 약  $\sigma_E = \pm 20$  V 로 계산되어 에너지 분포가 상당히 일정함을 알 수 있다.

### 3) 이온원을 이용한 PI 표면 개질

Fig. 7(a)는 Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 등을 이용하여 표면 처리된 PI (Kapton-E, Du Pont)의 접촉각 변화를 보여주고 있다. 이온 조사 조건은 각각 0.5 mA/cm<sup>2</sup>의 일정한 이온 전류 밀도에서 실시하였다. 다만 산소 이온빔의 경우 이온빔의 전류 밀도 의존성을 조사하기 위해 0.8 mA/cm<sup>2</sup>에서도 실시하였다. Fig. 7(a)에서 보듯이 Ar 이온만을 사용한 경우는 약 35도 정도까지만 접촉각을 줄일 수 있었지만 0.5 mA/cm<sup>2</sup>의 전류밀도로 산소 이온을 조사한 경우 5×10<sup>16</sup>/cm<sup>2</sup>에서 25도, 2×10<sup>17</sup>/cm<sup>2</sup>에서 10도 미만으로 접촉각을 낮출 수 있었다. 한편 이온 전류 밀도를 0.8 mA/cm<sup>2</sup> 까지 증대시키면 매우 낮은 이온선량인 5×10<sup>15</sup>/cm<sup>2</sup>에서도 약 8도 까지 낮출 수 있어서 이온전류 밀도와 밀접한 연관성을 가지고 있었다. 한편 0.5 mA/cm<sup>2</sup>의 N<sub>2</sub>O 이온빔을 이용한 경우 5×10<sup>16</sup>/cm<sup>2</sup>에서 2 내지 4도 정도의 아주 낮은 접촉각을 보여줌으로써, 산소 이온의 두 경우 보다 훨씬 효과적임을 알 수 있었다. 이는 단일 산소 이온 보다 질량이 커서 표면의 고분자 사슬을 좀 더 효과적으로 분리하고 이렇게 분리된 고분자 사슬들이 N, O 등의 원자들과 잘 결합하여



(a)



(b)

Fig. 7. Change of wetting angle to water (a) and surface energy (b) of PI surface modified at various ion beam treatment conditions

친수성기를 형성함을 알 수 있다.

위의 증류수에 대한 접촉각과 에틸렌 글리콜 용액에 대한 접촉각을 각각 측정하여 Owens-Wendt [10]의 식으로부터 표면 에너지를 구하여 본 결과를 Fig. 7(b)에 나타내고 있다. Fig. 7(b)에서 보듯이 Ar 이온으로 처리한 경우 약 60 erg/cm<sup>2</sup> 까지 표면 에너지가 증가하나, 다른 반응성 가스 이온들을 이용한 경우 1×10<sup>17</sup>/cm<sup>2</sup> 이온선량까지는 O<sub>2</sub> (0.5 mA/cm<sup>2</sup>), N<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> (0.8 mA/cm<sup>2</sup>) 등의 순으로 높은 표면 에너지를 보이나 그 이상의 이온선량에서는 모두 80

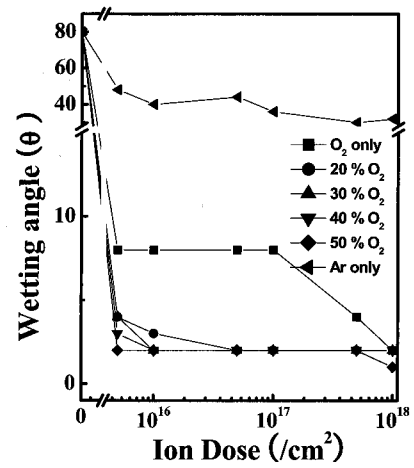
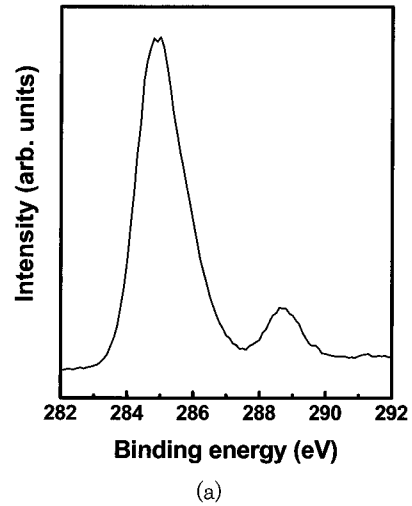
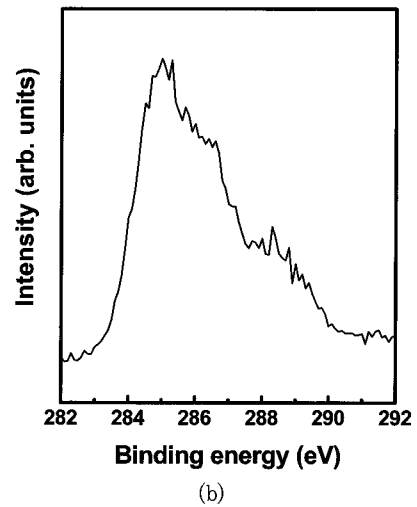


Fig. 8. Change of wetting angle to water of PI surface with the variation of the relative O<sub>2</sub> content in the mixed ion beam of Ar and O<sub>2</sub>



(a)



(b)

Fig. 9. XPS C1s core level spectra taken from the bare PI surface and that treated by N<sub>2</sub>O ion beam

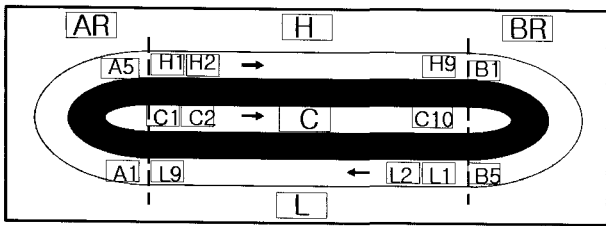


Fig. 10. Measuring points of magnetic field strength in designed sputter cathode

erg/cm<sup>2</sup> 정도의 높은 값을 보여주고 있다.

한편 Ar 가스와 O<sub>2</sub> 혼합 가스를 사용한 후 이를 이온빔으로 추출하여 PI 표면에 조사한 경우 접촉각 변화를 알아보면 Fig. 8에서와 같이 산소 이온빔에 Ar 가스를 혼합하면 그 비율이 증가함에 따라 접촉각이 급속히 감소함을 알 수 있다. 이는 N<sub>2</sub>O의 경우와 마찬가지로 질량이 큰 이온과의 동시 조사가 표면 개질에 효과적임을 알 수 있다.

Fig. 9는 표면 처리 되지 않은 PI와 N<sub>2</sub>O (5×10<sup>16</sup>/cm<sup>3</sup>) 이온빔을 사용하여 처리한 PI 표면에서 측정된 C1s 코아 전자 준위에 대한 x-선 광전자 스펙트라를 보여주고 있다. Fig. 9(b)에서 보면 Ar 과 산소 혼합 이온빔으로 처리한 경우 결합에너지 288 eV 근처의 화학적으로 친수성기인 C=O 결합의 증가가 확연히 관찰되고 있으며 이로 부터 접촉각의 감소와 표면 에너지의 증가의 직접적인 원인을 알 수 있다. 아산화질소 이온빔의 경우도 산소 이온빔의 경우와 비슷한 결과를 보여 주고 있으면 이에 대한 자세한 결과는 기 발표된 보고에서 상세히 알 수 있다[11].

### 3.3 스퍼터 캐소드의 특성 조사

#### 1) Cu 스퍼터 캐소드

Fig. 10은 본 실험에서 사용한 금속 스퍼터 캐소드의 개략도이다. 구성은 스퍼터 캐소드 물질의 접합판 (bonding plate) 으로는 5 mm 두께의 Cu 구리판 (410 mm × 110 mm) 을 사용하였으며, 그 위에 6 mm 정도 두께의 금속 타겟을 인듐 (Indium) 으로 접합하여 타겟을 효과적으로 냉각 하도록 하였고, 타겟 위쪽으로는 shield 부분이 bonding plate 위쪽 부분에 위치하게 설계, 제작되었다. Shield 부분도 스퍼터시 많은 방사열에 의한 온도 상승으로 변형을 방지하기 위하여 독립적으로 물에 의한 냉각이 이루어 지도록 하였다. 스퍼터 타겟의 여러 부분에서 자기장의 세기를 측정할 위치도를 보여주고 있다. 안쪽 "C"부분과 바깥

Table 1. Magnetic field strength measured at places mentioned in Fig. 11

Unit : Gauss

Points	Section				
	AR	C	BR	H	L
1	412	225	402	351	371
2	443	680	445	349	369
3	451	680	459	353	373
4	451	673	447	357	373
5	400	671	418	354	376
6		681		350	367
7		684		348	366
8		675		349	349
9		667		363	352
10					
11					
12					
13					
H <sub>Max</sub>	451	684	459	363	376
H <sub>Min</sub>	400	667	402	348	349
ΔH	51	17	57	15	27
Average	431	677	434	353	366

쪽 상하 H, L부분 그리고 좌, 우측 곡율이 있는 AR, BR 부분으로 구분하여 측정하였다. 스퍼터 캐소드는 마그네트론 형태를 취하고 있으며, 자석 배치는 Fig. 10 에 나와 있는 것 같이 배열되었으며, 자석으로는 Nd 자석을 사용하였고, 스퍼터 캐소드의 자기장의 세기를 측정할 것은 Table 1에 나타내었다.

내부의 C의 경우 전체 평균은 677 가우스 정도였고 균일도 99.5 % 이상을 보이고 있었다. 한편 바깥쪽 자장의 경우 상쪽에서는 평균 353 가우스, 하쪽에서는 평균적으로 366 가우스로 13 가우스 정도의 차이만 보이고 있고, 굴곡이 진 좌우 부분의 경우도 평균값이 431 가우스 (AR 부분), 434 가우스 (BR부분)으로 상하 좌우의 공간적 자장 분포가 대칭적으로 매우 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있었다.

#### 2) 타겟 스퍼터 효율

타겟의 이용 효율을 알아보기 위하여 구리 타겟을 DC 3-8 kW 정도 (전압 400 V)의 전력을 인가하여 Ar 플라즈마를 사용하여 24시간 정도 sputter 한 후 구리 타겟의 스퍼터된 모습을 조사하였다.

Fig. 11로 부터 사용된 구리 스퍼터 캐소드의 침식된 모

양을 조사해 보면 장축과 단축의 경우 각각 전체 400×100 mm<sup>2</sup> 면적에 대하여 단축으로는 안쪽 ±15 mm 바깥쪽에서 부터 끝단까지 균일하게 스퍼터링이 된 것을 알 수 있다. 이에 비하여 장축의 경우 277 mm ~ 346 mm 의 영역에서 효과적으로 스퍼터링이 일어난 것으로 측정되었다. 위의 결과로부터 단축의 경우에 비하여 장축으로의 타겟 사용율이 저조함을 알 수 있었다. 전체 타겟에 대한 스퍼터링이 유효하게 일어나고 있는 부분의 면적비를 구해보면 5/8 정도로 약 63 % 정도의 타겟 사용율을 보여주고 있다.

### 3) Cu 박막의 증착율

고밀도 연성회로용 무접착제 2층 FCCL의 구조는 Fig. 12와 같다. Fig. 12 에서 보듯이 25 또는 38 μm 두께의 폴리이미드 (polyimide) 고분자 기판위에 전기 도금에 필요한 도전층인 구리 박막을 약 150~300 nm 정도로 증착하기 위해, 구리의 확산 및 PI와의 접착력 증대를 위하여 접착층 (tie-layer)으로 Ni-Cr 또는 Cr 금속 박막을 약 10 nm 전 코팅 (pre-coating) 하게 된다. 이 때 구리 박막의 경우 결정성과 핀홀 (pin-hole)이 없는 상태 등이 전기 도금을 위한 씨앗 (seed layer) 층으로 중요한 역할을 하게 되며 스퍼터링 조건에 따라 결정되게 된다. 또한 산업적인 면에서

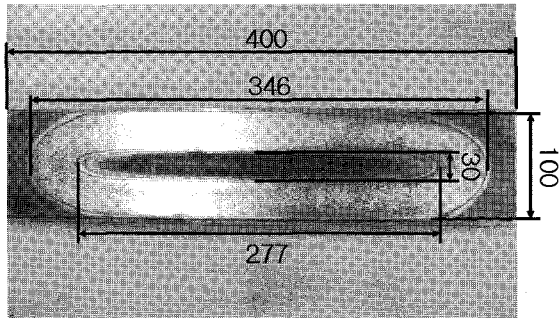


Fig. 11. Schematic dimension of designed sputter cathode

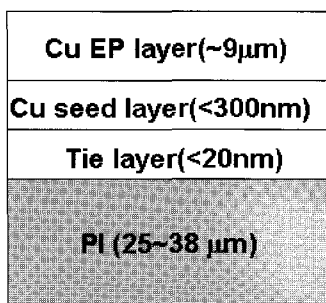


Fig. 12. Structure of adhesiveless 2-layer FCCL (EP:electroplating)

빠른 증착율은 생산 속도와 직결되며, 코팅의 균일도는 제품의 품질과 수율과 직접적인 연관성을 가지는 중요한 요소이다. 본 연구에서는 진공 웹코터 시스템의 하드웨어적인 면인 증착율과 균일도를 조사하였다.

Fig. 13은 롤의 속력을 0.5, 0.75 m/min의 두 조건에 고정하고 Cu 스퍼터링 인가 전력을 3, 5, 8 kW로 변화시키면서 구리의 증착율을 조사한 결과이다. 스퍼터링시 방사열로 인한 필름의 변형을 방지하기 위하여, 냉각롤의 온도를 7~13 °C로 고정하였고, 스퍼터 타겟으로 부터의 거리는 200 mm 로 고정하였다. PET 고분자 필름을 사용하였으며 균일도 측정을 위하여 150 mm 폭의 스테인레스 마스크를 타겟 표면으로부터 100 mm 높이에 설치하여 증착된 구리 박막의 두께를 Rutherford backscattering spectrometry (RBS)를 사용하여 측정하였다. 증착율 (Å/s)은 냉각롤의 회전 속도와 타겟 앞에 설치된 마스크 개구면의 길이로 부터 RBS로 측정된 두께로부터 계산되었다. 스퍼터링 조건은 상부실의 주 진공 밸브(Main vacuum valve)를 열고 한 경우와 이를 닫고 스퍼터 주위의 트로틀 밸브 (sputter throttle valve)을 열고 한 경우를 비교하여 측정하였다.

Fig. 13에서 보면 위의 두 경우 모두 냉각롤의 회전 속도에 상관없이 인가된 직류 전력인 3~8 kW 영역에서 거의 기울기가 비슷한 증착율의 변화를 보여주고 있다. 예를 들어 롤 속력이 0.5 m/min 인 경우, 3, 5, 그리고 8 kW 전력 인가시 각각 38, 67 그리고 100 Å/s 의 평균적인 증착율을 보여주고 있고, 증착 두께 (d)와 인가 전력 (p)과의 관계를 구해보면,

$$d_{M,V}(nm) = 14 \cdot p(kW) - 4.8 \quad (1)$$

$$d_{M,V}(nm) = 14.3 \cdot p(kW) - 4.1 \quad (2)$$

의 관계식을 각각 얻을 수 있었다. (1)과 (2)는 상실부와 하실부 스퍼터 지역의 터보 펌프를 각각 (open, close), (close, open) 상태에서 스퍼터링을 한 경우이다. (1)과 (2)로 부터 1차 계수 및 y축 절편의 경우 오차가 4 % 정도 내에서 잘 일치하고 있어서 주 진공 밸브 또는 스퍼터 지역의 트로틀 밸브들 중 어느 것을 사용하던 거의 유사한 증착율을 보이고 있음을 알 수 있었다. 위로부터 전기도금을 위한 150 nm 정도의 구리 두께 증착을 위해서는 냉각롤의 속도는 0.5 m/min 이상, 스퍼터 인가 전력은 8 kW 이상에서 가



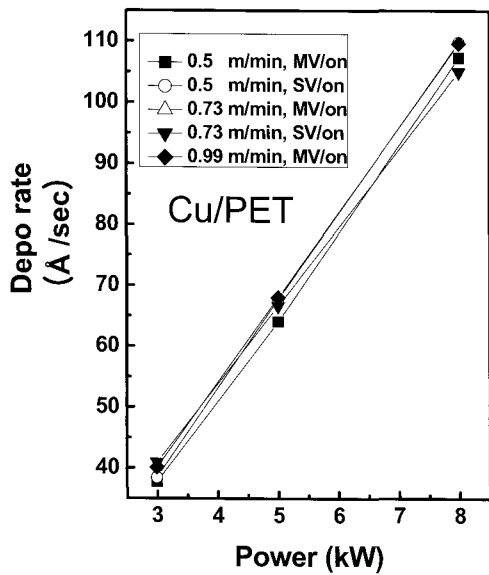


Fig. 13. Deposition rate of Cu as a function of web-speed and applied DC power to cathode

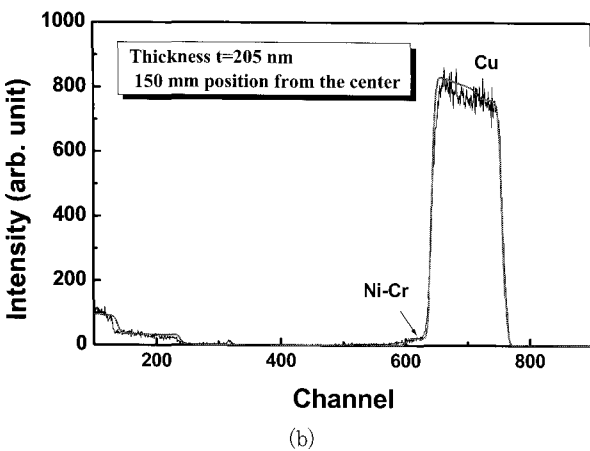
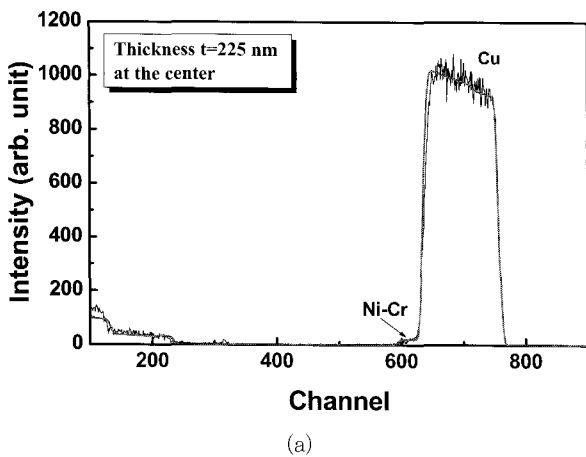


Fig. 14. RBS spectra of Cu/Ni-Cr/PI measured at the center (a) and edge 150 mm apart from the center (b)

능함을 알 수 있었다.

#### 4) 증착된 Cu 박막의 균일도 측정

Fig. 14 에서 보듯이 Ni-Cr tie layer를 10 nm 정도 증착한 후 Cu 스퍼터 인가 전력을 8 kW, 웹 속도를 0.5 m/min의 상태에서 구리를 약 200 nm 정도 증착한 후 RBS 법을 통하여 박막의 두께 균일도를 측정하였다. 350 mm폭의 PI 필름위에 증착한 후 중앙 부분과 중앙에서 150 mm 떨어진 곳에서 각각 측정하여 비교하여 보았다. 중앙 부분에서는 약 225 nm정도의 두께를 보이는 반면 150 mm 떨어진 곳에서는 205 nm정도로 측정되어 균일도는  $205/225 \times 100 (\%) = 91 \%$  정도로 측정되어 300 mm 폭 정도에서는 90% 이상의 박막 균일도를 갖는 Cu 씨앗층이 증착된 2층 FCCL PI 필름을 제작할 수 있음을 알 수 있다.

#### 5) Tie layer

2층 무접착제 연성 회로 기판 재료에서는 구리의 확산 방지와 폴리이미드와의 접착력 증대를 위하여 Ni, Cr 또는 Ni-Cr 계를 위주로 한 합금이 주로 사용되고 있다. 본 실험에서는 순수 Ni에 비하여 스퍼터율을 향상시키고, 내열성을 향상시키기 위하여 Cr 이 5 % 정도 포함된 Ni-Cr (95:5) 합금 타겟을 사용하여 tie layer 층으로서의 특성을 알아 보았다.

Fig. 15는 약 10 nm 두께로 스퍼터된 Ni-Cr tie layer 층에 대한 Auger electron spectroscopy (AES) depth profile 스펙트라를 보여 주고 있다. 표면 쪽에서는 대기

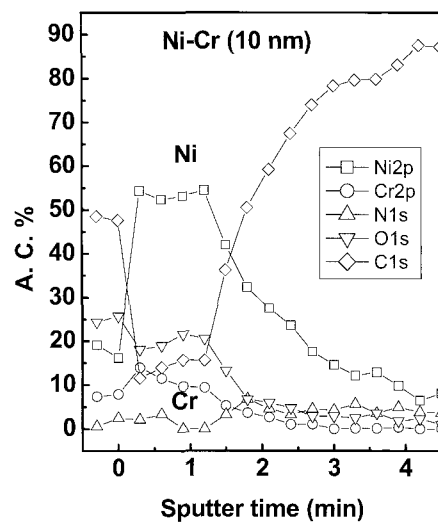


Fig. 15. AES depth profile of Ni-Cr tie layer

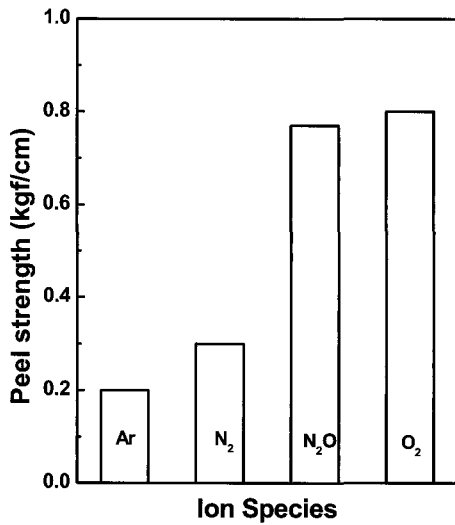


Fig. 16. Peel strength of FCCL fabricated at different ion beam treatment conditions

중에 존재하는 탄소에 의한 피크 강도가 강하게 검출되고 있으나, 약간의 스퍼터링 후 그 피크 세기는 급격히 줄어들고 Ni의 피크가 강하게 나타나며 Cr과 관련한 피크의 세기도 일정한 크기로 관측되고 있어서 10 nm 내에서 Ni-Cr이 균일하게 스퍼터 증착 되어 있음을 알 수 있다. 한편 Ni-Cr 피크 tail 이 PI 내로 스며들어 존재하고 있는 것과 Ni-Cr 층 내에서 C, O 등의 피크 세기가 관측되는 것으로부터 스퍼터된 Ni과 Cr 입자들이 어느 정도 운동 에너지를 가지고 있어서 유연한 PI 표면과 충돌시 표면 쪽에 침투되어 혼합된 층을 형성하는 것을 알 수 있다.

6) Cu/PI의 접착력

Fig. 16은 아르곤, 질소, 산소 및 아산화 이온빔을 이용하여 표면처리를 한 후 접착층 없이 구리 박막을 200 nm

증착한 후 8 μm의 두께로 구리를 전기도금한 후 90 peel tester (SIMADZU, AG-1 Model, 최대 측정 가능치 50 N) 를 사용하여 측정한 초기 접착력 값을 보여 주고 있다. 이온빔의 처리 조건은 이온빔 전류밀도가 J=0.8 mA/cm<sup>2</sup>에 고정하여 표면을 각각 처리하고 시료를 제작하여 평가하였다.

결과에서 보듯이 Ar과 N<sub>2</sub>이온으로 처리한 경우 각각 0.2, 0.3 kgf/cm의 낮은 peel strength 값을 보이는 반면에 아산화질소 이온빔으로 처리한 경우 0.77 kgf/cm로 147 % 이상의 급격한 증가를 보이며, 산소 이온빔으로 처리한 경우는 이 보다 약간 더 높은 0.8 kgf/cm로 최고값을 보였다. 이는 산소가 포함된 이온빔을 사용하는 경우 친수성기인 C=O 결합의 형성과 직접적인 관련이 있음을 잘 알 수 있다. 하지만 접착층이 없는 경우 내열성 시험을 위하여 온도를 상승한 뒤 측정하면 2 시간 내에 모두 구리 박막이 박리 되는 현상을 보임으로 반드시 접착층이 필요함을 알 수 있다.

Table 2 경우는 Fig. 7의 경우와 같이 표면 여러 가지 이온빔으로 처리한 후 접착층으로 Ni-Cr을 10 nm 두께로 증착한 후 Cu를 200 nm 스퍼터 증착하고 역시 9 μm의 두께로 구리를 전기도금한 후 90 peel tester 를 사용하여 측정한 초기 접착력과 내열성, 내화학성 시험 후 접착력의 변화를 측정한 값들을 측정하였다. 내열성은 IPC-FC-240C 규격에 의해 150 °C에서 7일간 열처리하며 측정하였고, 내화학성의 경우 NaOH (10%), HCl (10%) 묽은 용액에 5분간 담고, 수세한 후 측정하였다. 여러 가지 이온빔으로 처리한 시료 중에 Ar과 산소 이온빔을 혼합하여 처리하여 제작된 경우 가장 우수한 특성을 보였으며 그 초기 접착력의 경우 0.85 kgf/cm 는 내화학성 시험후 0.65 및 0.66 kgf/cm로 저하되었으나, 초기 접착력의 70 % 이상을 유지해야하는

Table 2. Physical properties of between FCCL fabricated by web-coater of Vic-Mama and commercial one

	Surface treatment method	Thickness of Cu (μm)	Initial peel strength (kgf/cm)	Thermal stability (kgf/cm)			Chemical endurance (kgf/cm)		Bond-ability
				1day	4day	7day	HCl	NaOH	
Summitomo Inc.	DC Plasma (O <sub>2</sub> )	9	0.62	0.48	0.38	0.35	0.61	0.61	pass
Vic Mama	Low energy ion beam (Ar+O <sub>2</sub> )	9	0.85	0.65	0.55	0.52	0.65	0.66	pass

규격을 만족하였다. 한편 내열성 시험에서는 24시간 후 0.65, 그리고 168시간 후에는 0.52 kgf/cm로 저하되었으나 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 LCD 평면 디스플레이용 COF (chip on flex) 재료인 스피모모사의 사용 제품과 물성 값을 비교하였다.

#### IV. 결 론

다양한 연성 전자 산업용 기판 제작을 위한 800 ℓ 급 소형 진공 웹코터를 제작하여 그 특성을 조사하였다. 터보 펌프와 폴리콜드 를 이용한 펌핑 속도는 약 45분 후 상실부가  $2 \times 10^{-7}$  Torr 정도 진공도를 달성할 수 있었다. 유효 표면 처리 면적이 300 mm 내에서 90 % 이상의 균일도를 보이는 저에너지 가속 부분이 긴 전자-홀 표류 이온원을 성공적으로 제작하였으며 4개의 마그네트론 스퍼터 캐소드의 경우 매우 균일한 자기장 분포와 300 mm 폭 내에서 95 % 이상의 균일한 박막 증착 현상을 보여주었으며 63 % 정도의 타겟 소모율을 보였다. 구리의 경우 롤의 속도에 무관하게 스퍼터 캐소드에 이가된 전력에 선형적으로 증가하는  $d_{MV} = 14p(kW) - 4.8$ 의 증착을 변화가 측정되었다. 아르곤과 산소의 혼합 이온빔을 사용하는 경우  $0.8 \text{ mA/cm}^2$  정도의 이온 전류 밀도에서 1 sec 정도의 짧은 시간 조사하여 소수성인 폴리이미드 (Kapton-E) 표면을 물에 대한 접촉각이 4도 미만의 초친수성화 표면 개질이 가능하였으며, 이 처리 조건에서 제작된 9 μm 두께의 Cu/Ni-Cr/PI 구조를 가지는 연성 동박 적층 필름의 경우 초기 접착력이 0.85 kgf/cm이며 내열성 및 내화학성이 우수한 기판을 제작할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학기술연구원의 원천기술확산사업 (2V00970), (주)도레이 새한 (2I20480) 및 서울시 산학협력 사업(2G06980)의 지원 하에 이루어졌음에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] D.G. Arnold, Flexible Display and Electronics 2004 (J. Olmstead, Intertech, Portland, 2004)
- [2] A. Doda, Materialstoday **9**, 24 (2006); R.A. Street, W.S. Wong, S.E. Ready, M.L. Charbiny, A.C. Arias, S. Limb, A. Salleo, and R. Lujan, *ibid*, 32; J. Jang, *ibid*, 46.
- [3] G.P. Crawford, *Flexible Flat Panel Displays* (G.P. Crawford eds. John Wiley & Sons, New York, 2005).
- [4] 전자정보센터, *인쇄회로 기판개황 및 Flexible PCB* (전자부품연구원, 2005).
- [5] R. Kukla, H.G. Lotz, R. Ludwig, and P. Sauer, 48th Annual Technical Conference Proceedings of the Society of Vacuum Coater, 617 (2005).
- [6] W.K. Choi, Y. Ermakov, and J. Cho, 49th Annual Technical Conference Proceedings of the Society of Vacuum Coater, 44, (2006).
- [7] W.J. Lee, Y.S. Lee, S.K. Rha, Y.J. Lee, K.Y. Kim, Y.D. Chung, and C.N. Whang, *Appl. Surf. Sci.* **128**, 205 (2003).
- [8] A.I. Morozov and I.V. Melikov, *J. Tech. Phys.* **44**, 544 (1974).
- [9] J.Y. Park, Y. Ermakov, and W.K. Choi, *Nucl. Instru. Meth. B* **239**, 440 (2005).
- [10] D.K. Owens and R.C. Wendt, *J. Appl. Polym. Sci.* **1741**, 13 (1969).
- [11] J.Y. Park, Y.S. Jung, J. Cho, and W.K. Choi, *Appl. Surf. Sci.* **252**, 5877 (2006).

## Vacuum Web-coater with High Speed Surface Modification Equipment for fabrication of 300 mm wide Flexible Copper Clad Laminate (FCCL)

H.W. Choi<sup>1</sup>, D.H. Park<sup>1</sup>, J.H. Kim<sup>1</sup>, W.K. Choi<sup>1</sup>, Y.J. Sohn<sup>2</sup>,  
B.S. Song<sup>3</sup>, J. Cho<sup>4</sup> and Y.S. Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Korea Institute of Science and Technology, Thin Film Materials Research Center, Seoul 136-791*

<sup>2</sup>*Samwon Vacuum Company, Gyunggi, 415-881*

<sup>3</sup>*NEXCEN Company, Gyunggi, 451-861*

<sup>4</sup>*Toraysaehan Ltd., Seoul 121-721*

(Received January 2, 2007)

Prototype of 800ℓ vacuum web coater (Vic Mama) consisting of ion source with low energy less than 250 eV for high speed surface modification and 4 magnetron sputter cathodes was designed and constructed. Its performance was evaluated through fabricating the adhesiveless flexible copper clad laminate (FCCL). Pumping speed was monitored in both upper noncoating zone pumped down by 2 turbo pumps with 2000 l/sec pumping speed and lower surface modification and sputter zone vacuumed by turbo pumps with 450 l/sec and 1300 l/sec pumping speed respectively. Ion current density, plasma density, and uniformity of ion beam current were measured using Faraday cup and the distribution of magnetic field and erosion efficiency of sputter target were also investigated. With the irradiation of ion beams on polyimide (Kapton-E, 38μm) at different fluences, the change of wetting angle of the deionized water to polyimide surface and those of surface chemical bonding were analyzed by wetting anglemeter and x-ray photoelectron spectroscopy. After investigating the deposition rate of Ni-Cr tie layer and Cu layer was investigated with the variations of roll speed and input power to sputter cathode. FCCL fabricated by sputter and electrodeposition method and characterized in terms of the peel strength, thermal and chemical stability.

Keywords : vacuum web coater, ion beam modification, flexible copper clad laminate

\* [E-mail] wkchoi@kist.re.kr