

## ESD를 이용한 다기능 미세 프린팅 공정

김동수\*, 이원희(한국기계연구원 정보장비연구센터), 임현의(한국기계연구원 미래기술연구부),  
박용두, 이규백(고려대학교 의과대학)

### Multi-functional Micro/Nano Printing Process with ElectroSpray Deposition(ESD)

D. S. Kim, W. H. Lee, H. E. Lim(KIMM),  
Y. D. Park and K. B. Lee(Korea Univ.)

#### ABSTRACT

In this study, we used the ESD method to prepare the protein microarrays for observation the stem cell responses to pattern size, space and shapes. The ESD method allows a reduction in spot size, high efficiency of substance transfer, and high rate in fabrication as a result of ability to simultaneously deposit thousands of identical spots. Typical electro spraying conditions for the deposition of proteins were a voltage of 3 ~ 5 keV and the humidity under 30%. The patterns of masks have a variety of shapes, spaces, and hole sizes from 10  $\mu\text{m}$  to 300  $\mu\text{m}$ . Three kinds of proteins(collagen, fibronectin, and vitronectin dissolved in PBS) are deposited in a dry state, preserving the functional activity of proteins. Stem cells were cultured on each protein patterned sample at 37  $^{\circ}\text{C}$  for 1 day.

**Key Words** : ESD (정전기유도증착), Shadow mask (쉐도우 마스크), Cell (세포)

#### 1. 서론

바이오-마이크로/나노 패턴을 만들기 위한 대표적인 기술로는 마이크로 스폿팅(micro spotting), 잉크젯 프린팅(inkjet printing), 미세접촉인쇄(microcontact printing:  $\mu\text{CP}$ ) 그리고 쉐도우 마스크를 사용하는 정전기 유도 증착(electrostatic deposition: ESD) 방법이 있다. [1,2] 마이크로 스폿팅과 잉크젯 프린팅은 각각 패턴의 크기와 패터닝 속도에 제한이 있다. 미세접촉인쇄는 높은 분해능과 다수의 어레이를 동시에 패터닝 할 수 있는 장점을 가지고 있으나, PDMS stamp로부터 전달되는 재료의 양이 제한적이며, 다양한 표면으로 패턴을 전사시키는 것에 대한 어려움이 있다. ESD 방법은 정전기장을 제어함으로써, 단백질 또는 대전된 나노 입자들을 전도성 기판의 특정 영역 위에 증착시킬 수 있도록 개발되었는데, 방울의 크기, 시료의 농도, 분사 시간 등으로 증착량을 조절할 수 있고, 다양한 패턴을 동시에 증착할 수 있어, 고속 대면적 분사가 가능하다.

#### 2. 정전기유도증착

ESD 장치는 용액을 넣은 모세관과 고전압이 걸리는 백금전극, 고전압 전원, 스텐실마스크와 기판으로 구성된다. 고전압이 모세관에 인가되면 전기장 집중효과에 의해 모세관 끝에 극도로 큰 전기장이 발생하는데 이때, 모세관 끝에 발생하는 전기장의 세기  $E_c$  는 식 (1)에 의해 계산할 수 있다.

$$E_c = \frac{2V_c}{r_c \ln(4d/r_c)} \quad (1)$$

여기서,  $V_c$ : 고전압,  $r_c$ : 모세관 끝의 외경,  $d$ : 모세관과 대응전극간의 간격이다. 전기장 집중의 세기는 고전압이 클수록, 모세관 끝의 외경이 작을수록 커진다. 집중 형성된 전기장은 모세관 끝부분의 용액표면에 전기이중층을 형성한다. 이중정전하를 가지는 이온들은 표면에 집중되고 표면이 불안정에 의해 큰이나 제트의 형태로 분사된다. 분사된 미세방울은 전기장에 의해 유도되며, 용매가 증발하여 축소, 분리되고 마스크를 통과한 작은 입자들이 전도성기판에 패턴을 만들며 증착하게 된다.

### 3. 프린팅 실험

#### 3.1 형광물질 프린팅

이번 실험에서는 직경 50nm의 amine-modified fluorescent latex beads (Sigma) 0.1% 용액을 사용해서 그 성능을 테스트해보았다. 기판으로는 aldehyde-modified ITO glass를 이용했는데 그것은 amine-modified nanoparticles를 화학적으로 기판위에 고정하기 위한 것이다.

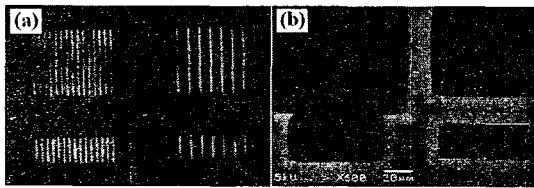


Fig. 1 Stensile mask(b) and pattern(a).

이번 실험에서는 분해능을 검증하기 위해서 다양한 사이즈의 긴 구멍의 stencil mask를 만들어서 실험했다. 가장 작은 것이 2 $\mu$ m의 긴 구멍과 4 $\mu$ m의 pitch로 된 패턴이었다. 형광현미경에 의해 가장 분해능이 높은 이 패턴이 성공적으로 관찰되었고 그 사진을 그림 1에 나타낸다. 이번 실험에서의 분해능의 한계는 본 과제의 근본적인 한계가 아닌 stencil mask를 일반공정으로 만들 수 있는 한계이므로 진정한 의미의 한계는 지금은 아직 알 수 없다.

ESD로 만들어진 패턴의 미세구조를 FE-SEM을 이용해서 고배율 사진을 측정한 결과 그림 2와 같다.

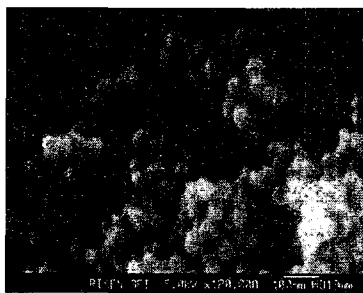


Fig. 2 FE-SEM image of deposited particles

#### 3.2 단백질 프린팅

ITO 기판위에 전도성 폴리머를 코팅함으로써 패턴링 되지 않은 영역에서 셀의 성장을

억제하기 위하여 passivation으로 화학처리를 하였다. 마스크는 직경 300 $\mu$ m 홀을 5 $\times$ 5 array로 가지는 웰즈 마스크가 사용되었다. 단백질 용액은 collagen을 사용하였으며, V1 전압을 2.9~4kV 범위로 제어 하였으며, 패턴링 시간은 60분~3시간 패턴링한 결과 그림 3과 같다.

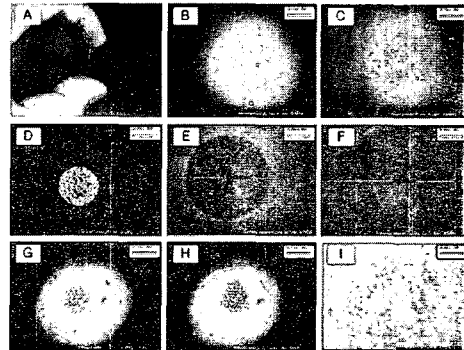


Fig. 3 Optical images of 2nd patterned collagen on polymer coated ITO glass.

### 4. 결론

본 논문에서는 정전기 유도증착기술을 이용하여 2 $\mu$ m 선폭의 패턴을 인쇄를 수행하였다. 최소 선폭은 마스크의 분해능에 좌우되었으며, 클러스터가 100~200nm로 형성되어 있는 점으로 볼 때 마스크의 분해능을 높을 경우 수백 나노 선폭의 프린팅이 가능할 것으로 기대된다. 또한 단백질 패턴링 실험에서도 전도성 폴리머 코팅된 ITO 기판에 콜라겐을 성공적으로 프린팅 하였다.

#### 참고문헌

- [1] A. Curtis, and C. Wilkinson, "Nanotechniques and approaches in biotechnology", Trends in Biotechnology, vol. 19, pp. 97-101, 2001.
- [2] V. N. Morozov, and T. Y. Morozova, "Electrospray Deposition as a Method To Fabricate Functionally Active Protein Films", Anal. Chem., vol. 71, pp. 1415-1420, 1999.