

# 회전경사증착공정으로 제작된 Ag 나노로드를 이용한 형광신호 증폭 기판 제작

## Fabrication of Glancing Angle Deposited Ag Nanorods for Enhanced Fluorescence Substrate

변의현, 한윤아, 주종현, #김석민

B. Byeon, Y. Han, J. Ju, #S. Kim (smkim@cau.ac.kr)

중앙대학교 기계공학부

Key words : Metal Enhanced Fluorescence, Glancing Angle Deposition, Ag nanorods, Microarray Biochip

### 1. 서론

생체역학의 다양한 응용분야에서 형광 분석법은 가장 중요한 분석방법으로 DNA 및 Protein 의 반응 분석을 위한 microarray biochip 에 널리 사용되고 있다. Microarray Biochip 을 이용한 형광 분석에 있어, 고농도 시료의 경우 높은 신뢰성 및 일관성을 갖는 분석결과를 보여주나, 저 농도 시료에 대해서는 신뢰성이 낮은 단점이 있다. 형광 신호의 증폭을 통한 검출한계 향상을 위해, 금속 나노 입자 주변에서 발생하는 표면 플라즈몬 공진 효과를 이용하는 다수의 연구가 수행되었다. Pompa 등은 Electron beam lithography (EBL) 공정과 식각 공정으로 제작된 삼각형 gold 나노 구조물이 형성된 기판의 형광 신호 증폭 특성을 측정하여, 금속 나노 입자의 표면 플라즈몬 효과에 의한 형광 신호 향상을 정량적으로 분석하였다[1]. 그러나 선행 연구에서 금속 나노 구조의 제작을 위해 사용된 EBL 공정은 높은 제작 시간/비용으로 인해 저가/대면적화가 어려운 단점을 갖는다. 일회성인 바이오 센서의 특성을 고려할 때 저가 대면적 공정으로 제작 가능한 금속 나노 입자를 이용한 형광증폭 기판의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 금속 나노 구조의 대면적/저가 생산이 가능한 회전 경사 증착

공정을 이용하여 Ag 나노 구조를 glass 기판 상에 제작 하였으며, 이 때 제작된 Ag 나노 구조 주변에서 형성되는 표면 플라즈몬 효과에 의한 형광신호 증폭을 확인 하였다.

### 2. 형광 증폭 기판 제작

회전 경사 증착 공정이란 incoming flux 가 기판과 특정한 각도 (<math><15^\circ</math>)를 갖도록 위치시킨 후 증착을 진행하는 것으로, Fig. 1 과 같이 증착 공정 초기에 기판 상에 무작위로 나노 입자들이 생성되고 이후에는 shadowing effect 와 분자의 이동성 제한으로 인하여 초기 생성된 나노 입자들을 토대로 나노로드가 형성되는 공정이다. 이때 기판을 일정한 속도로 회전 하며 증착 하게 되면 기판과 수직한 나노로드가 성장하게 되고 회전속도와 증착 각도를 조절함으로써 다양한 모양의 나노 구조를 만들 수 있게 된다[2]. Fig. 2 의 (a)는 회전 경사 증착 시스템의 모식도를 (b)는 E-beam evaporator 내 장착된 시스템을 보여준다. 장착된 시스템은 기판의 각도와 기판의 수직방향을 축으로 하는 회전속도의 조절을 가능하게 하는 시스템이다.



Fig. 1 Schematics of the process of fabricating the nanorod structure

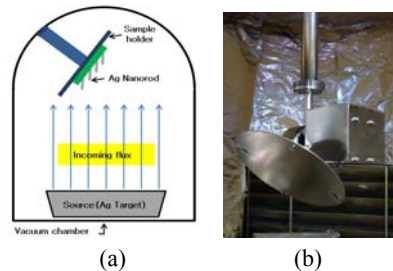


Fig.1 (a) Schematic diagram of GLAD system and (b) image of constructed jig system for GLAD in electron-beam evaporator

본 연구에서는 Ag 나노로드를 제작하기 위해 incoming flux 와 기관의 각도를 85°로 고정하고 5Å/s 의 속도로 기관이 회전하지 않는 상태에서 증착을 수행하였다. 회전 경사 증착 공정에서 나노로드의 직경은 재료 및 진공 분위기의 함수이므로 제어가 용이치 않지만, 나노로드의 길이는 증착 시간의 함수이므로 상대적으로 제어가 용이하다. 본 연구에서는 Ag 나노로드의 길이에 따른 형광 증폭 효과를 분석하기 위해 250, 500, 750, 1000nm의 Ag 나노로드를 제작 하였다. Fig. 3은 제작된 Ag 나노로드 중 500nm와 1000nm 길이를 갖는 Ag 나노로드의 SEM 사진을 보여준다. 같은 배열의 사진임에도 불구하고 길이가 길어짐에 따라 이웃하는 나노로드와 결합을 통해 나노로드의 개수가 감소하고 지름이 증가하는 것을 알 수 있다. 아울러 나노로드의 형상이 더욱 복잡해 지고 이웃하는 로드간의 결합에 의해 hot spot 이 발생하는 지역이 증가하고 있음을 확인 할 수 있다.

### 3. 형광신호 증폭효과 분석

제작된 기관의 형광신호 증폭효과를 분석하기 위해 SA-Cy5 를 Phosphate buffered saline (PBS) 용액에 희석하여 각각 100 µg/ml, 1 µg/ml, 10 µg/ml, 100ng/ml 농도로 준비하였고 각 기관상에 한 농도당 1 µl 씩 6 개의 spot 을 도포한 후 Microarray scanner 장비를 이용하여 측정하였다. Fig. 4 는 제작된 기관의 형광신호 증폭신호를 보여준다. Ag 나노로드기관의 형광신호 검출 능력이 glass 기관보다 훨씬 뛰어난 것을 알 수 있다. Fig. 5(a) 는 각 기관에서 각 농도의 SA-Cy5 가 갖는 Flux intensity 양을 그래프화 하여 비교한 것이며 (b)는 glass 기관 신호 대비 신호 증폭 량을 계산하여 Enhancement factor(EF) 를 나타낸 값이다. 길이가 증가함에 따라 Flux intensity 와 EF 값 모두 증가함을 알 수 있다.

### 결론

본 연구에서는 회전 경사 증착 기법을 사용하여 Ag nanorod 를 제작하고 각 기관을 길이에 따라 다양하게 제작 하였다. 제작된 기관상에 다양한 농도로 준비된 SA-Cy5 를 도포하여 신호 증폭 정도를 분석하였다. Ag nanorod 가 형성된 기관이 Glass 기관보다 형광신호 검출 능력이 훨씬 뛰어난 것을 확인 하였

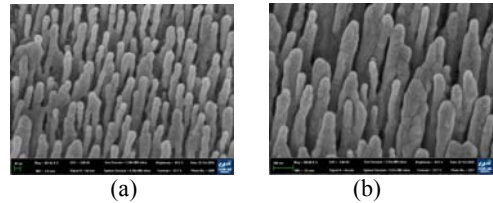


Fig. 3 Top-view SEM images of Ag nanorod on substrate with height of (a) 500nm (b) 1000nm

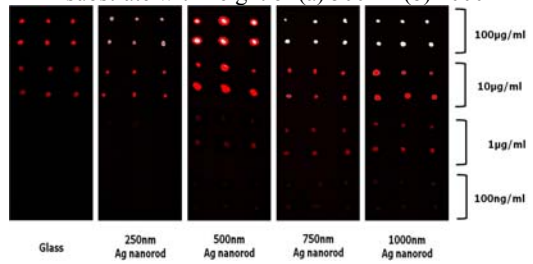


Fig. 4 Comparison of measured fluorescence images of SA-Cy5 spots on bare glass substrate (reference) and Ag nanorod substrates with varying nanorod length

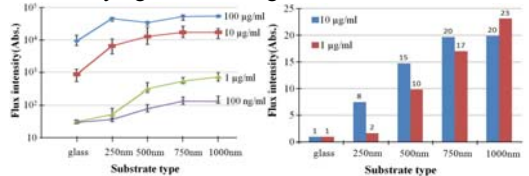


Fig.5 Effects of length of Ag nanorod on (a) the flux intensity for each SA-Cy5 concentration and (b) the fluorescence enhancement factor for SA-Cy5 concentration of 10µg/ml and 1 µg/ml;

다. 또한 길이가 증가함에 따라 신호 증폭 량이 커짐을 확인하였다.

### 후기

이 논문은 2012 년도 서울 R&BD 프로그램 (ST110012)의 지원을 받아 수행된 것임

### 참고문헌

- Zin, M., Leong, K., Wong, N., Ma, H., Sarikaya, M. and Jen, A., "Surface-plasmon-enhanced fluorescence from periodic quantum dot arrays through distance control using biomolecular linkers", *Nanotechnology*, 20, 015305, 2009.
- Zhao, Y., Chaney, B. and Zhang, Z., "Absorbance spectra of aligned Ag nanorod arrays prepared by oblique angle deposition", *Journal of Applied Physics*, 100, 063527, 2006