

# 하이브리드 금나노구조를 적용한 라만 분광 기반 고감도 휴먼케어 센서 개발

조용준, 권혁주, 변정민\*  
경희대학교 전자정보융합공학과

only9599@khu.ac.kr, gurwn845@khu.ac.kr, \*kmbyun@khu.ac.kr

## Development of high-sensitivity human care sensor based on Raman spectroscopy of hybrid gold nanostructures

Yongjun Cho, Hyuk Ju Kwon, and Kyung Min Byun\*

Department of Electronics and Information Convergence Engineering, Kyung Hee University

### 요 약

최근 실시간으로 건강 상태를 확인할 수 있는 헬스케어 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 체액으로 건강 상태를 확인할 수 있는 방법을 고안하기 위해 표면 강화 라만 산란(Surface-Enhanced Raman Scattering: SERS)현상을 이용한 물질 분석 방법을 이용하였다. 기존에는 라만 산란 신호의 미약한 신호를 증폭시켜주기 위해 기존엔 금 나노섬을 실리콘 기판 상에 증착하는 방법을 사용했지만 본 연구에서는 신호를 더 증폭시키기 위해 금 나노섬 위에 금 나노입자를 추가 증착해 연구를 진행했다. 그 결과, 표적물질인 4-ABT(4-aminobenzenethiol) 분자의 검출 한계 농도를 확인했을 때 더 낮은 결과가 나오고 신호의 세기 또한 증폭된 것을 확인하였다. 이 결과를 이용해 금 나노섬과 금 나노입자를 기반으로 한 하이브리드 플랫폼으로 고감도 SERS 센서를 구현하고 더 나아가 체내 생체분자로 라만 산란 분석을 하여 실시간으로 생체 신호 모니터링에 응용 가능할 수 있을 것이라 기대된다.

### I. 서론

최근에 많은 사람들의 헬스케어에 대한 관심이 증가하면서 다양한 방법의 건강관리방법이 생기게 되었다. 본 연구에서는 체액을 활용하여 실시간으로 건강상태를 확인할 수 있도록 비침습적 라만 분광법과 나노기술을 결합한 표면 강화 라만 산란(Surface-Enhanced Raman Scattering: SERS) 현상을 이용하였다.[1]

연구를 진행하기 위해 표적물질로 4-ABT 분자를 통해 금 나노섬만 증착된 실리콘 기판과 금 나노섬과 금 나노입자가 증착된 실리콘 기판에서의 신호세기를 비교해보았다. 4-ABT 분자를 농도별로 디핑해 라만 분석을 통해 검사한 결과를 선형 회귀 분석을 하여 선형성과 한계농도(Limit of Detection: LOD)를 통한 민감도를 분석하였다.

### II. 본론

본 연구에서는 실리콘 기판상의 금속 나노구조에 의해 분석물의 SERS 신호가 증폭될 수 있음을 제시하였다. 분석물의 SERS 신호의 크기를 높이기 위해 금속 나노섬만 증착되어 있는 실리콘 기판위에 금 나노입자를 추가적으로 증착하였다. 증착하기 위한 방법으로 금 나노섬이 증착되어 있는 실리콘 기판을 수직으로 직경 30 nm 의 금 나노입자가 들어가는 수용액에 담은 상태로 대류성 자기조립법(Convective Self-Assembly:

CSA)를 이용해 1 시간동안 금 나노입자를 추가 증착하였다. 그 후 4-ABT 분자를 에탄올을 이용해 100 nM 부터 1mM 까지 총 7 개의 농도를 갖는 수용액을 만들어 각 농도별로 15 분씩 디핑한 후 에탄올과 초순수(Deionized Water: DI Water)를 이용해 클리닝해 라만 분광기를 통해 라만 스펙트럼을 측정하였다.

그 결과 표적물질인 4-ABT 분자의 대표 라만픽인  $1077\text{ cm}^{-1}$  에서 나노섬만 증착되어 있는 실리콘 기판의 신호세기는 21981 로 측정되었지만 금 나노입자가 추가 증착된 실리콘 기판에서의 라만신호는 198109 로 9 배가 넘게 신호가 증폭된 것을 확인할 수 있다. 한계농도를 비교해 보았을 때 금 나노섬만 있는 실리콘 기판은 10  $\mu\text{M}$  에서 나왔지만 금 나노입자를 추가 증착한 실리콘 기판에선 100 nM 로 더 우수한 결과가 나온 것을 확인하였다. 선형 회귀 분석을 한 결과, 금 나노섬만 증착된 실리콘 기판은 결정 계수가 0.9026, 금 나노입자와 금 나노섬이 증착된 실리콘 기판의 결정 계수는 0.9698 로 나온 것을 확인하였다. 선형 회귀 분석을 통해 도출된 결정 계수를 보았을 때 금 나노입자와 금 나노섬이 증착된 실리콘 기판이 금 나노섬만 증착된 실리콘 기판에 비해 더 높게 나와 선형성이 더 우수한 것을 확인하였다.

전계방출형 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope: FE-SEM)을 통해 보았을 때 금 나노섬위에 금 나노입자가 제대로 증착된 것을 확인하였다. 그림 3 과 같이 FE-SEM 을 통해 측정한 결과, 금 나노섬이 증착된 실리콘 기판 상에 금 나노입자가 제대로 증착된 것을 확인할 수 있다.

유한차분 시간영역(Finite-Difference Time-Domain: FDTD) 시뮬레이션을 통해 금 나노섬만 있는 실리콘 기판에서의 최대값은 3.4218, 최소값은 0.0179 로 나왔지만 금 나노입자와 금 나노섬이 증착된 실리콘 기판에서의 최대값은 최대값이 35.900, 최소값이 0.0244 로 10 배 이상 증가된 결과가 나온 것을 확인하였다.

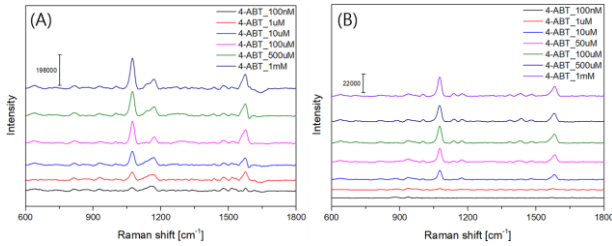


그림 1. 4-ABT 농도별 라만 분석 스펙트럼. (A) 금 나노섬과 금 나노입자가 증착된 실리콘 기판, (B) 금 나노섬만 증착된 실리콘 기판

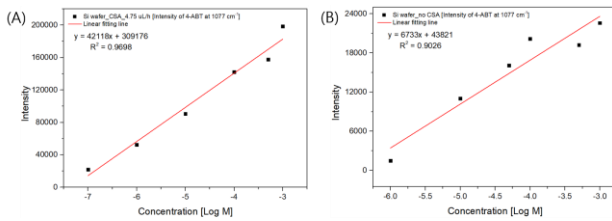


그림 2. 4-ABT 농도별 선형 회귀 분석 결과. (A) 금 나노섬과 금 나노입자가 증착된 실리콘 기판, (B) 금 나노섬만 증착된 실리콘 기판

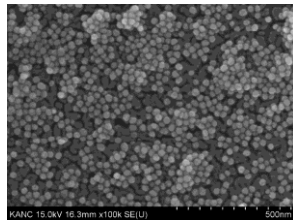


그림 3. FE-SEM 으로 금 나노섬과 금 나노입자가 증착된 실리콘 기판을 측정된 결과

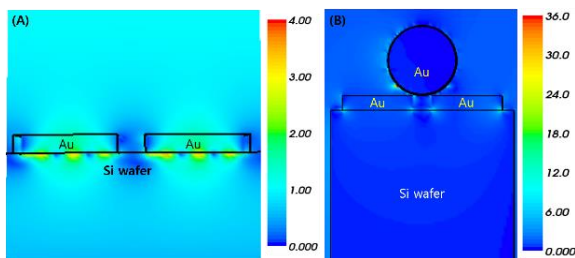


그림 4. FDTD 시뮬레이션 결과. (A) 금 나노만 증착된 실리콘 기판의 전자기장 분포 (B) 금 나노섬에 금 나노입자가 추가로 증착된 실리콘 기판의 전자기장 분포

### III. 결론

본 연구의 결과 그림 1 과 같이 금 나노섬만 있는 실리콘 기판은 한계농도가 10 uM 인 것에 비해 금 나노입자가 추가 증착된 실리콘 기판은 한계농도가 100 nM 로 더 발전된 결과가 나온 것을 확인하였다. 4-ABT 가 1 mM 디핑되었을 때 결과 또한 금 나노입자가 추가 증착된 실리콘 기판이 약 9 배 더 증가되어 나온 것을 확인할 수 있는데, 이는 FDTD 시뮬레이션을 통해 추가적으로 입증하였다. 선형 회귀 분석을 통해서도 금 나노섬만 증착되어 있는 실리콘 기판보다 금 나노입자가 추가 증착된 실리콘 기판이 더 높은 선형성을 띄우는 것이 확인되었다.

위의 결과를 토대로 금 나노입자를 추가 증착함으로써 고감도 SERS 센서를 구현하는 데 도움이 될 것이라는 사실을 확인하였다. 본 연구를 통해 만들어진 SERS 센서를 활용한다면 인체 내에 있는 분자들을 라만 프로브 물질로 이용하여 라만 분광기를 통해 검사한다면 실시간으로 건강상태를 확인할 수 있는 플랫폼을 만들 수 있을 것이라 기대된다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 National Research Foundation of Korea (NRF) 과제의 지원을 받아 수행하였음. (2022R1A2C1010151)

### 참 고 문 헌

- [1] Alena Reznickova, et al. "Gold nanoparticles deposited on glass: physicochemical characterization and cytocompatibility." *Nanoscale Research Letters*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-8, 2013.