

★ 2021년 3월 16일(화) 조간(온라인 3.15.(월) 낮 12:00)부터 보도해주시기 바랍니다.

## 보도자료

청렴한 연구지원 신뢰받는 NRF



한국연구재단  
National Research Foundation of Korea

<홍보실> 실장 박길수, 이은지 연구위원 ☎ 042-869-6116

<자료문의> 서울대학교 전기정보공학부 박남규 교수(02-880-1820)

# 대면적 투명 컬러필터 및 암호화된 나노 QR 기술 차량 유리나 건물 벽을 통한 헤드 업 디스플레이 응용 연구 금속 나노입자 리소그래피 기술 개발

- 차량 유리에 목적지까지의 경로 등을 띄우려는 헤드 업 디스플레이 실용화를 위한 과제 가운데 하나인 고효율 대면적 생산 기술을 해소하는데 도움이 될 연구결과가 나왔다.
- 한국연구재단(이사장 노정혜)은 박남규 교수 연구팀(서울대학교)이 금속 나노입자를 사용한 고품질 저비용 식각기술을 개발하고 이를 통해 반사와 산란 색상이 각각 다른 투명 컬러필터와 암호화된 나노 QR코드를 제작하였다고 밝혔다.
- 빛의 흡수, 산란, 반사 및 투과 등 다양한 특성을 제어할 수 있는 특정한 나노구조나 메타물질을 대량으로 만들기 위해 나노입자를 마스크로 사용하는 식각기술이 이용된다.
- 일반 나노공정의 전자빔 기반 식각공정이 아니라 간단한 나노 입자 코팅으로 진행되기에 저렴하고 대면적 구현이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 컬러필터, 디스플레이, 태양전지, 광센서, 광암호화 등에 접목하기 위해서는 낮은 균일성과 정밀도가 걸림돌이었다.
- 이에 연구팀은 폰(체스 말 가운데 하나)을 본 떠 알루미늄 복합체로 된 원통 위에 구형의 금 나노입자를 올린 구조체를 핸드폰 화면크기 면적에 성공적으로 식각하는 공정을 개발했다.

- 금 나노입자의 반지름과 원통의 높낮이를 조절함으로써 가시광-근적외선 영역에서 빛의 산란, 반사, 투과 특성을 광범위하게 제어하는 데 성공했다.
  - 실제 이 같은 나노 폰 구조체를 적용한 컬러필터를 제작하여 높은 투과성과 함께 고순도 반사색 및 산란색이 나타나는 것을 확인하였다.
  - 차량 유리나 건물 벽 등 투명한 기판 위에 정보를 담아 가시화하는 헤드업 디스플레이로의 응용 가능성을 보여준 것이다.
  - 한편 나노 폰 구조체 필름에 특정한 패턴으로 배열한 QR 코드를 투사하고, 구조에서 나타나는 반사색과 산란색의 상보적 색 특성을 이용한 홀로그램용 QR코드 암호화 시스템의 가능성도 제시했다.
  - 이는 높은 식각 선택비를 제공하는, 새로운 고정밀 나노 식각 공정을 개발하여, 높은 측면 수직성( $\sim 90^\circ$ )과 종횡비( $>1$ )의 나노 폰 복합 구조체(금 나노 구형 입자/알루미늄-이산화규소 원통/초박막 알루미늄)를 대면적으로 구현하는 데 성공했다.
- ※ 식각 선택비 : 각 물질의 식각속도 비로 정의된다. 높은 식각 선택비는 목표 물질을 마스크 물질 대비 빠르게 식각시킨다.
- 가시광-근적외선 영역 내 산란, 반사 및 투과 특성을 섬세하게 제어할 수 있는 대면적 나노 구조체를 저비용, 고효율 나노 공정기술로 구현함으로써 향후 칼라필터, 디스플레이, 광센서, 광 암호화 등 다양한 광학 응용소자 개발의 토대가 될 것으로 기대한다.
  - 과학기술정보통신부와 한국연구재단이 추진하는 글로벌프런티어사업(파동에너지 극한 제어 연구단)의 지원으로 수행된 이번 연구성과는 재료과학 분야 국제학술지 ‘어드밴스드 머티리얼스(Advanced Materials)’에 2월 18일자로 온라인 게재되었고, 내부 표지논문으로 선정되었다.

# 주요내용 설명

<작성 : 서울대학교 박남규 교수, 인성준 박사, 박주성 연구원>

|     |   |
|-----|---|
| 논문명 | Dispersion-Controlled Gold-Aluminum-Silicon Dioxide-Aluminum Nanopawn Structures for Visible to NIR Light Modulation      |
| 저널명 | 어드밴스드 머티리얼스(Advanced Materials)   |
| 키워드 | colloidal lithography, gold nanoparticles, information encryption, multi-material nanostructures, plasmonic color filters |
| DOI | 10.1002/adma.202007831  |
| 저자  | 박남규 교수(교신저자/서울대학교), 인성준 박사(교신저자/서울대학교), 박주성 연구원(제1저자/서울대학교) 총 3명  |

## 1. 연구의 필요성

- 빛의 흡수, 산란, 반사, 투과 등 다양한 특성을 제어하기 위한 나노 광학 소자 및 메타물질에 대한 관심이 높아지면서, 높은 정밀성, 비용-효율성, 확장성을 갖는 나노 공정기술이 개발되고 있다.
  - ※ 나노 광학 소자 : 빛의 세기, 위상 및 주파수를 효과적으로 제어할 수 있는 나노 크기의 소자를 의미하며, 디스플레이, 센서, 광 변조기, 렌즈 등 다양한 분야에 응용된다.
  - ※ 메타물질 : 전자기파의 파장보다 훨씬 작은 크기의 금속/유전체 원자 물질을 주기적인 배열로 설계해 만든 것으로, 인위적으로 굴절률을 조정할 수 있어, 투명망토, 스텔스 등에 응용된다.
- 자가조립된 나노입자를 식각 마스크로 사용하는 나노입자 기반 식각 리소그래피는 물질 간의 식각 선택비를 조정하여, 다양한 크기와 모양의 나노구조를 저비용, 대면적으로 구현할 수 있어 주목받는다.
  - ※ 나노입자 기반 식각 리소그래피 : 나노입자를 표면에 균일하게 분산시켜, 식각 마스크로 사용하고, 반도체 공정에 사용되는 식각 과정을 통해 다양한 크기, 모양의 나노 구조를 구현하는 차세대 기술이다.
  - ※ 식각 선택비 : 각 물질의 식각속도 비로 정의된다. 높은 식각 선택비는 목표 물질을 마스크 물질 대비 빠르게 식각시킨다.
- 그러나 일반적으로 사용되는 유전체 나노입자 기반 마스크는 특정 물질에 대해서만 식각 선택비를 조정할 수 있으므로, 높은 정밀성 및 균일성이 요구되는 다 물질 나노구조를 개발하는 데 한계가 있다.

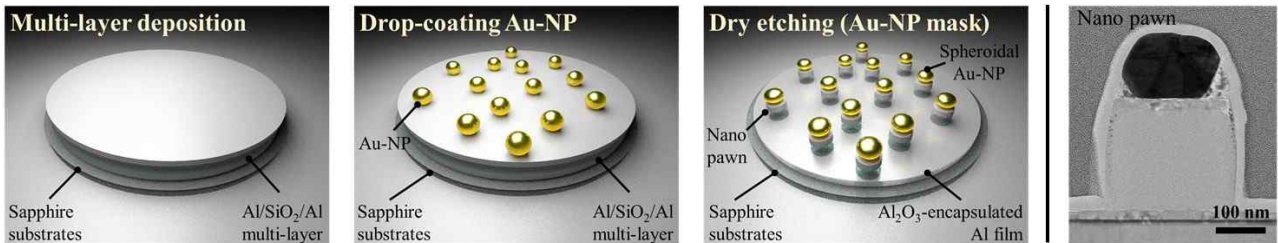
## 2. 연구내용

- 본 연구에서는 다양한 물질에 대한 높은 시각 선택비를 구현하기 위해 금 나노입자(구형)를 시각 마스크로 사용하는 리소그래피 기술을 개발하였다.
- 나노 구조 공정기술을 이용하여 대면적으로 균일하게 분포된 복합 - 물질, 고-수직성( $\sim 90^\circ$ ), 고-종횡비( $>1$ )의 나노 폰(pawn) 구조체(금 나노 구형 입자/알루미늄-이산화규소 원통/초박막 알루미늄)를 제작 하였다.
- 실험적으로 구현된 나노 폰 구조체는 구조물 내의 금 나노입자의 반지름과 알루미늄-이산화규소 원통 높이를 조절함에 따라 가시광-근적외선 대역에서 산란, 반사 및 투과 특성이 독립적으로 광범위하게 제어됨을 실험적으로 검증하였다.
- 이를 토대로 다중-채널(반사, 산란, 투과) 컬러 필터 응용을 시연하고, 향후 고화질, 저비용, 고순도 HUD로의 응용 가능성을 제안하였다.
  - ※ HUD(Head-up display) : 투명한 패널 위에 다양한 정보를 전사시키는 디스플레이의 한 종류이다. 차량의 앞 유리, 건물의 벽 등에 이용할 수 있다.
- 나아가 나노 폰 구조체의 특별한 상보적인 반사색과 산란색 특성을 이용하여, 관측각에 따라 상보적으로 특정 광학 정보를(반사정보, 산란정보) 선택적으로 감취 지폐의 위조 방지 홀로그램에 적용할 수 있는 고해상도 QR-코드 암호화 시스템을 개발하였다.
  - ※ QR-코드(Quick Response code) : 흑백 사각 격자무늬에 정보를 담고 있는 매트릭스 형식의 이차원 코드이다.

## 3. 연구성과/기대효과

- 본 연구는 새롭게 개발된 금 나노입자(구형) 시각 기반 리소그래피 기술 및 산란, 반사 및 투과 특성을 섬세하게 제어할 수 있는 나노 구조체의 실용성을 검증하였으며, 향후 칼라필터, 디스플레이, 센서, 광 암호화 등 다양한 광학 응용 분야에서 핵심 소자로 이용 가능할 것으로 기대된다.

# 그림 설명

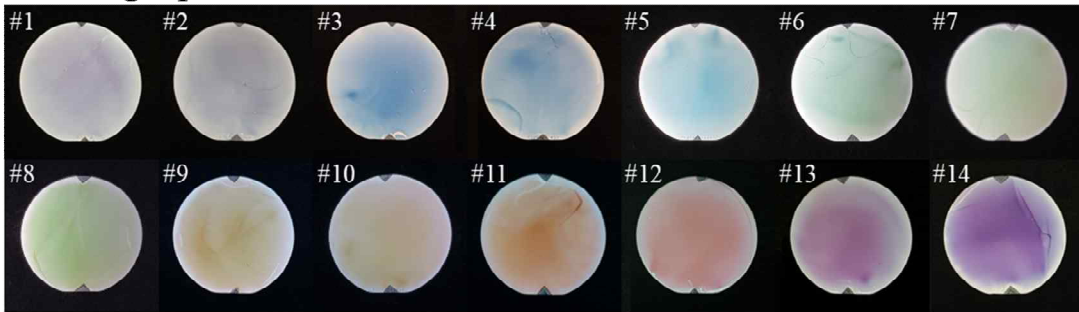


[그림 1] 금 나노입자 에칭 기반 리소그래피 기술 개요

(왼쪽) 금 나노입자(구형, 노란색 입자) 에칭 기반 리소그래피 기술 공정 모식도로, 알루미늄-이산화규소-알루미늄 증착, 금 나노 구형 드랍 코팅, 그리고 높은 선택성의 건식 식각으로 진행된다.

(오른쪽) 해당 공정 기법을 통해 제작된 복합-물질, 고-수직성( $\sim 90^\circ$ ), 고-종횡비(>1)의 나노 폰(pawn) 구조체의 표면 전자현미경 이미지이다.

### Photographs for reflection



### Photographs for scattering

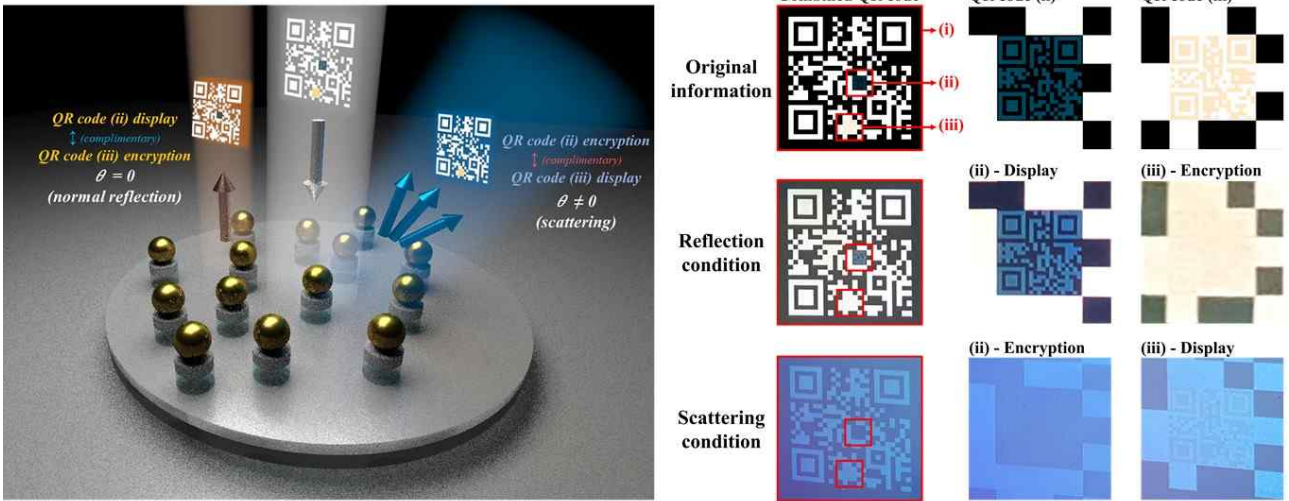


### Photographs for transmission



[그림 2] 나노 폰(pawn) 구조체를 이용한 다중-채널 컬러필터 효과

제작된 2인치 샘플의 반사색(위), 산란(가운데), 투과색(아래) 사진. 구조체 내 금 나노입자(구형)의 반지름과 알루미늄-이산화규소 원통 높이를 조절함에 따라 산란, 반사 및 투과 특성이 독립적으로 제어되며, 산란색과 반사색이 서로 상보적으로 나타나는 대면적 다중-채널 투명 컬러필터의 효과를 실험적으로 검증하였다.



[그림 3] 반사색-산란색 상보적 QR-코드 암호화 시스템 응용 원리 모식도

(왼쪽) 반사색-산란색 상보적 QR-코드 암호화 시스템 및 응용 원리 모식도로, 관측각에 따라 특정 광학 정보가 (반사정보, 산란정보) 선택적으로 암호화된다.

(오른쪽) 실험에 사용된 샘플은 상보적으로 반사조건에서는 갈색, 산란조건에서는 파란색을 띤다. 따라서, 반사조건 (오른쪽 가운데)에서는 갈색 QR 코드(iii)가 샘플의 갈색 배경에 숨겨지고, 파란색 QR 코드(ii)가 나타난다. 반대로, 산란조건 (오른쪽 아래)에서는 파란색 QR 코드(ii)가 샘플의 파란 배경에 숨겨지고, 갈색 QR 코드(iii)가 나타난다.

그림설명 및 그림제공 : 서울대학교 박남규 교수, 인성준 박사, 박주성 연구원

# 연구 이야기

<작성 : 서울대학교 박남규 교수, 인성준 박사, 박주성 연구원>

## □ 연구를 시작한 계기나 배경은?

기존 나노입자 기반 식각 리소그래피는 유전체 나노입자 기반 식각 마스크를 사용하는 기술로 특정 물질에 대해서만 식각 선택비를 조정할 수 있어 높은 정밀성 및 균일성이 요구되는 복합 물질 나노구조를 개발하는 데 한계가 있었다. 본 연구팀은 다양한 물질에 대한 높은 식각 선택비를 구현하기 위해, 유전체 나노입자보다 더욱 안정적인 금 나노 구형 입자를 식각 마스크로 사용하여, 새로운 나노입자 기반 식각 리소그래피를 개발하고자 하였다.

## □ 연구하면서 어려웠던 점이나 장애요소는 무엇인지? 어떻게 극복(해결)하였는지?

본 연구팀은 일반적인 환경에서 응집력이 매우 강한 금 나노 구형 입자를 특정 밀도로 균일하게 분산시키기 위해서 기판과 금 나노 구형 간의 정전기 현상을 이용하였다. 또한, 식각 마스크로 사용된 금 나노 구형 입자와 다른 물질 (알루미늄, 이산화규소) 간의 선택성을 높이기 위해서 건식 식각의 공정 조건인 가스 이온, 플라즈마 파워, 압력, 챔버 온도 등이 식각 과정에서 어떤 요인으로 작용되는 지 실험적으로 검증하였다. 이를 기반으로 원하는 구조체를 제작하기 위해 섬세한 공정 조건을 확립하여 금 나노 구형 입자 식각 기반 리소그래피 기술을 개발하였다.

## □ 이번 성과, 무엇이 다른가?

본 연구팀은 다양한 물질에 대한 높은 식각 선택비를 구현하기 위해 금 나노 구형 입자를 식각 마스크로 사용하는 새로운 금 나노 구형 입자 식각 기반 리소그래피 기술 개발하였다. 이를 통해 대면적으로 균일하게 분포된 복합-물질, 고-수직성( $\sim 90^\circ$ ), 고-종횡비( $>1$ )의 나노 폰(pawn) 구조체를 제작하였다. 나노 폰(pawn) 구조체 내의 금 나노 구형 입자의 반지름과 알루미늄-이산화규소 원통 높이를 조절함에 따라, 가시광-근적외선 대역에서 산란, 반사 및 투과 특성이 독립적으로 광범위하게 제어되며, 특히 관측각에 따라 산란/반사 특성이 상보적으로 나타나는 것을 실험적으로 검증하였다.



## □ 실용화된다면 어떻게 활용될 수 있나?

다중-채널 (반사, 산란, 투과) 컬러 필터 응용을 시연하고, 고화질, 저비용, 고순도 HUD (Head-up display)로의 응용 가능성을 제안하였다. 나아가, 나노 폰(pawn) 구조체의 특별한 상보적인 반사색과 산란색 특성을 이용하여, 관측각에 따라 상보적으로 특정 광학 정보를 (반사정보, 산란정보) 선택적으로 감추어 지폐의 위조 방지 홀로그램에 적용할 수 있는 고해상도 QR-코드 암호화 시스템을 개발하였다. 본 연구는 저비용, 고효율 나노 공정기술을 개발하여, 가시광-근적외선 영역 내 산란, 반사 및 투과 특성을 섬세하게 제어할 수 있는 대면적 나노 구조체를 구현하였으며, 칼라필터, 디스플레이, 광 센서, 광 암호화 등 다양한 광학 응용 소자 개발의 토대가 될 것으로 기대한다.