

## 준입자적 특성을 가지는 빛 소용돌이의 자발적 생성과 동역학적 제어

Spontaneous generation and dynamic manipulation of quasiparticle-like optical vortices

연구책임자 | 서민교 소속학과 | 물리학과 참여연구원 | 김동하, Arthur Baucour, 최윤석, 신종화  
연구실 홈페이지 | <http://swol.kaist.ac.kr>

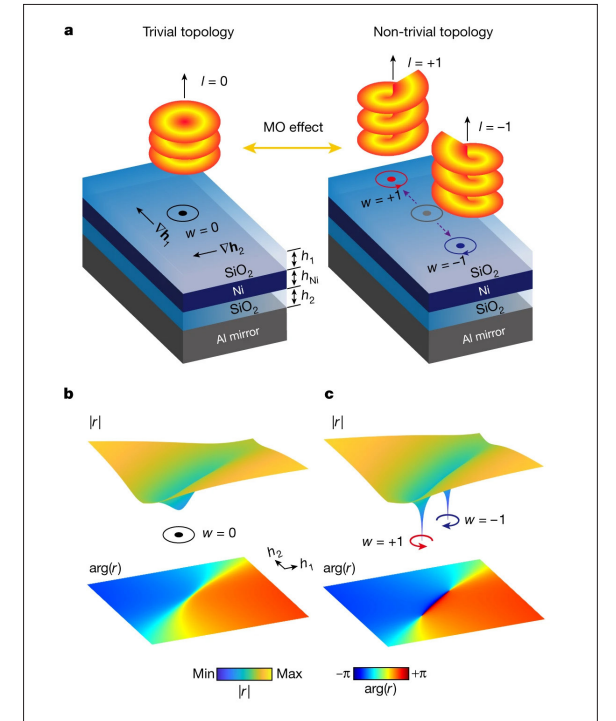
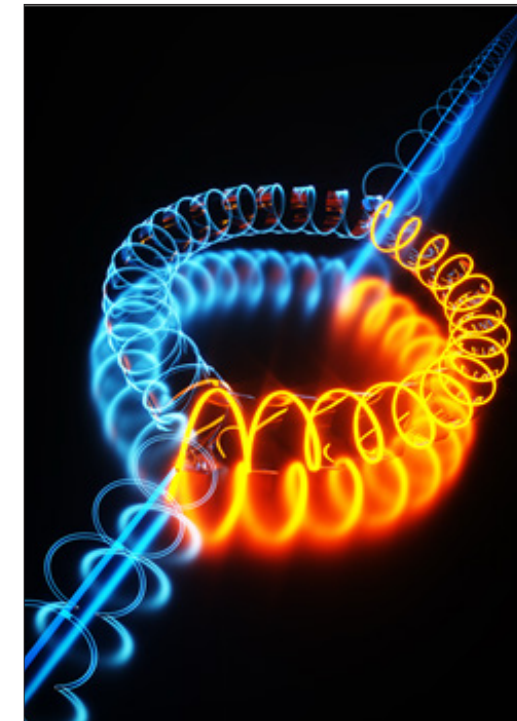
빛 소용돌이는 전자기장 위상 분포의 공간적인 꼬임으로 기초 물리량인 궤도 각운동량을 전자기파에 실는다. 전자기파의 궤도 각운동량은 고전적/양자역학적 회전 특성을 광학 현상과 기술에 도입함으로써, 초고해상도 현미경, 고차원 광통신, 양자 얽힘 등 다양한 분야에서 주목받아 왔다. 그러나, 다른 물리계의 소용돌이와 달리, 기존의 빛 소용돌이/궤도 각운동량의 생성은 구조적 특이점을 갖는 소자를 통해서만 구현되었고 역학적 변화를 가할 수 없는 수동적 특성을 가졌다. 본 연구에서는 구조적 특이점 없이도 자발적으로 생성되며 외부 자극(자기장, 전기장, 열 등)에 따라 준입자적(quasi-particle-like) 거동을 보이는 빛 소용돌이를 최초로 구현하였다. 이는 앞으로 광학 시스템에서 다양한 위상학적 전자기장 텍스처와 그들의 준입자적 상호작용에 대해 연구하는 시작점이 될 것으로 기대한다.

### 연구배경

빛 소용돌이(optical vortex)는 전자기장의 위상 분포의 공간적인 꼬임으로 기초 물리량 중 하나인 궤도 각운동량(orbital angular momentum)을 전자기장 텍스처(texture)에 실는 역할을 한다. 전자기적 궤도 각운동량은 고전적/양자역학적 회전 특성을 광학 현상 및 기술에 도입할 수 있어, 초고해상도 현미경, 고차원 광통신, 광 집게, 양자 얽힘 등 다양한 분야의 응용이 주목받아 왔다. 그러나, 다른 물리계(응집물질계, 유체계 등)의 소용돌이와 달리, 광학적 소용돌이의 생성은 그동안 나선형 구조적 특이점(structural singularity)을 통해서만 가능했다. 이로 인해 준입자적(quasi-particle-like) 특성은 커녕 동역학적 변화조차 기대할 수 없는 수동적 형태와 특성만을 지녀왔다.

### 연구내용

연구팀은 구조적 특이점 없이도 빛 소용돌이가 자발적으로 생성될 수 있는 플랫폼을 광학적 다층 박막 구조를 통해 구현하였다. 이 플랫폼은 광학적 반사율이 완전히 "0"이 되는 수학적 특이점을 가지는 자명하지 않은 위상학적 상(nontrivial topological phase)을 실 공간(real space)에 만들어 내며, 그 특이점을 중심으로 빛 소용돌이가 자발적으로 나타난다. 다층 박막 구조내의 자기 광학 효과를 이용하여, 외부 자기장에 의해 수학적 특이점을 가지는 자명하지 않은 위상학적 상과 특이점을 가지지 않는 일반적 위상학적 상 사이의 전이를 야기하였고 빛 소용돌이의 생성과 소멸을 제어하였다. 나아가, 빛 소용돌이들이 외부 자기장 하에서 광학적 위상전하에 따라 다른 양상의 움직임들을 보이거나 소용돌이-반 소용돌이쌍(vortex-antivortex pair)이 생성되는 등의 준입자적 양상을 실증하였다.



GTOC( gradient-thickness optical cavity)에서 자기적으로 제어 가능하며, 자발적으로 생성되는 광학 와류-항와류 쌍

### 기대효과

본 연구는 빛 소용돌이도 실공간에서 자발적 생성/소멸과 동역학적 움직임을 보이는 준입자적 양상을 가질 수 있음을 최초로 보고한 성과이다. 광학 시스템 내의 다양한 위상학적 전자기장 텍스처와 그들의 준입자적 특성 및 상호작용에 대한 연구의 시작점이 될 것이 기대한다. 특히, 본 연구팀이 개발한 광학적 다층 박막 플랫폼은 구성 물질에 따라 외부 자기장뿐만 아니라 전기장이나 열에 의한 구동도 가능해 다양한 능동적 위상 광학 소자 개발 및 빛 소용돌이 생성 소자의 개발로 활용이 기대된다.

### 연구성과

- [논문] Dongha Kim, Arthur Baucour, Yun-Seok Choi, Jonghwa Shin, Min-Kyo Seo, "Spontaneous generation and active manipulation of real-space optical vortices," *Nature*, 611, 48 (2022). [2021 Impact Factor = 69.504]

### 연구비 지원

- KAIST 초세대협업연구실(나노포토닉스연구실) 사업
- 한국연구재단 중견연구자지원사업, 기초연구실사업