



서울대학교  
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

# 보도자료

<http://www.snu.ac.kr>

국제엠바고를 준수하여 주시기 바랍니다.  
2019. 04. 09.(화) 00시부터 보도하여 주시기 바랍니다.

문의 : 물리천문학부 전헌수 교수 (02-880-6265)  
연구책임자: 전헌수 교수 (02-880-6265)

## 무작위 레이저의 특성 제어

- 물리천문학부 전헌수 교수팀, 무작위 레이저의 특성을 제어하는 원리 개발 -

### □ 무작위 레이저를 체계적으로 제어 가능함을 시연

- 서울대학교 물리·천문학부 전헌수 교수 연구팀은 삼성전자미래기술육성센터의 지원 하에, 하향식으로 설계 및 제작이 가능한 무질서(disorder)한 광학계를 개발하고, 이를 무작위 레이저(random laser) 소자에 적용하여 레이저의 발광 특성을 체계적으로 제어하는데 최초로 성공하였음.
- 이러한 성과는 무작위 레이저의 특성을 인위적으로 제어할 수 있음을 처음으로 증명한 것이며, 향후 무작위 레이저의 성능과 활용성을 현저히 개선하는 기반 기술로 자리매김할 것으로 기대됨.

### □ 단일모드 레이저를 구현하는 새로운 방법론을 개발

- 연구팀은 기념의 통념이나 경험과 달리 무작위 레이저를 단일 모드로 동작시킬 수 있는 방법론을 제시하고 이를 시연하였음.
- 무질서한 구조에 기반한 단일 모드 무작위 레이저는 기존의 레이저와는 달리 광모드의 제반 성질에 대한 다각적인 제어가 가능하며, 따라서 고기능성의 차세대 레이저에 대한 연구 개발에 획기적 전기를 마련함.

### □ 연구비 지원 프로그램

- 본 연구는 삼성전자 미래기술육성센터의 지원을 받았음.

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명 4. 연구진 이력사항

# 연구 결과

## Taming of random lasers

Myungjae Lee, Ségolène Callard, Christian Seassal, Heonsu Jeon

Nature Photonics (doi:10.1038/s41566-019-0407-5)

(Published online: 08 April, 2019)

무작위 레이저는 무질서한 구조에 존재하는 특이한 광모드의 공진을 통해 발진하는 레이저임. 기존의 레이저에 비하여 매우 독특한 원리 및 특성을 내재하기 때문에 고기능성 레이저로 활용할 수 있는 가능성이 높지만, 무질서계의 특성상 발광 빛의 특성을 제어하는 체계적인 수단이 사실상 전무하다는 한계가 있었음. 본 연구에서는 무질서에 대한 체계적인 설계가 가능한 광자결정 (photonic crystal) 합금 구조를 무작위 레이저에 접목하고 그 결과로 발현되는 앤더슨 국지화된 띠타일(band-tail) 상태를 공진모드로 활용함으로써, 체계적으로 제어 가능한 단일 모드의 무작위 레이저를 구현하였음.

### 연구의 필요성

- 무작위 레이저는 무질서한 광학계를 실용적으로 이용하고자 하는 대표적인 사례임. 무질서계에서 우연히 발현되는 공진모드를 이용하기 때문에 기존의 레이저와 차별되는 발광 원리와 특성을 갖는다는 점에서 주목을 받아왔음. 하지만 공진모드의 생성 원리상 레이저의 특성을 체계적으로 이해하거나 제어하기 어렵다는 근본적인 한계가 있으며, 이를 해결하는 것이 해당 분야의 당면 과제임.
- 이러한 문제를 해결하고자 지금까지 다양한 연구들이 선행되어 왔음. 하지만 지금까지의 모든 연구들은 무질서한 광학계에 대한 물리적 이해를 바탕으로 한 근본적이고 체계적인 광모드의 제어가 아니라, 전기장이나 열, 압력과 같은 외부적 요인을 추가하여 현상론적인 제어를 시도하였음. 이러한 접근 방법은 제어를 위한 구성 요소를 시스템에 추가해야 하므로 저비용 및 소형화 측면에서 불리하며, 무엇보다

다 제어의 폭이 실용적인 요구 수준에 미치지 못한다는 한계가 있음.

## 연구내용

- 본 연구팀은 기존의 무질서한 광학계의 경우 일정 수준 이상의 무질서도에서는 결정구조가 파괴된다는 것에 주목하여, 무질서도에 관계 없이 결정구조가 유지되는 광자결정 합금계를 개발하였음. 해당 시스템은 빛의 정교한 제어에 필요한 충분한 수준의 자유도가 보장되면 서도 안정적으로 광모드를 유지할 수 있음.
- 이러한 무질서한 광학계에서는 광자 띠틈(band-gap) 영역 내부에 띠틈 상태가 발현됨. 광자 띠틈 상태의 공진파장이나 전자기장의 집속도와 같은 광학적 특성은 무질서한 광학계의 구조적 변수에 의해 결정됨. 또한 특정 조건을 만족하는 광자 띠틈 상태는 물리적으로 앤더슨 국지화 현상에 준하여 거동함도 최근 본 연구진이 밝혀낸 바 있음—Science Advances 4, e1602796 (2018).
- 본 연구진은 광자결정 합금계, 나아가 광자 띠틈 상태에 기반한 무작위 레이저를 개발하였음. 특히 임의의 앤더슨 국지화된 광자 띠틈 모드를 선택하고, 이를 이용하여 단일 모드 레이저로 발전시킬 수 있는 아이디어를 제안하고 이를 직접 시연하였음. 그동안 무작위 레이저는 다중 모드로만 존재한다는 것이 통념이었으며, 단일 모드로 무작위 레이저를 발전시킨 것은 세계 최초의 성과임.
- 나아가 무질서에 대한 구조적 변수만을 이용하여 해당 단일 모드 레이저의 공진 파장은 물론 전자기장의 집속도와 같은 특성을 넓은 범위에서 체계적으로 제어할 수 있음을 시연하였음. 불필요한 외부 요인 없이 구조적 특성만을 이용해 무작위 레이저의 다차원적 제어에 성공한 것 역시 세계 최초의 성과임.

## 연구성과

- 본 연구는 무질서한 광학계에 대한 기초연구를 무작위 레이저로 확장 및 응용함으로써 해당 분야의 난제를 해결한 사례임. 무작위 레이저의 광학적 특성을 근본적인 차원에서 제어할 수 있게 됨으로써 추후 다양한 분야에 긍정적인 파급 효과를 미치리라 예상됨.
- 기존의 규칙적인 구조에 기반한 레이저 체계에 비해 무작위 레이저는 매우 높은 수준의 구조적 자유도를 제공함. 따라서 이러한 구조적 자유도를 직접 활용하여 발진 특성을 다차원적으로 제어할 수 있음. 본 연구를 시발점으로 앞으로 구조적 자유도를 활용해 기존의 레이저 체계에서 구현할 수 없는 무작위 레이저만의 다양한 가능성을 개발하고 응용하는 후속 연구로 이어지리라 기대됨.
- 무질서한 광학계 내의 모드 제어에 대한 아이디어는 비단 무작위 레이저에만 한정되지 않음. 본 연구를 통해 개발하고 시연한 광자결정 합금계와 광자 띠꼬리 상태는 무질서계를 이용하여 고기능성의 광모드를 구현하는 이상적인 수단이 될 수 있으며, 추후 이러한 원리를 이용한 다양한 차세대 광소자들의 개발 가능성이 기대됨.

# 용 어 설 명

## 1. 광자결정(photonic crystal) 및 광자결정 합금(photonic crystal alloy)

- 광자결정은 빛 파장 크기 정도의 주기로 굴절율이 일정하게 반복되는 광자학적 구조물이다. 이때 광자결정을 구성하는 최소 단위인 광 원자의 종류를 복수 개로 다양화하여 합금 형태로 구성함으로써 광자결정을 무질서한 구조로 확장할 수 있다.

## 2. 광 띠타름(photonic band-gap)

- 빛이 광자결정 구조를 통과할 때 굴절율의 주기성으로 인해 전파 특성이 변하게 되는데, 특히 빛이 전혀 진행할 수 없는 파장 대역이 존재할 경우 이를 광 띠타름이라 한다.

## 3. 광자 띠타꼬리 상태(photonic band-tail states)

- 무질서한 광학계의 고유상태(eigenstate)로서, 광 띠타름 내부에 발견되며 구조적 변수에 의해 해당 상태의 고유에너지는 물론 전자기장의 공간적인 분포가 결정된다. 이러한 특징이 1987년부터 예견되어 왔으며, 본 연구진에 의해 최초로 그 존재와 광학적 특성이 입증되었다.

## 4. 앤더슨 국지화(Anderson localization)

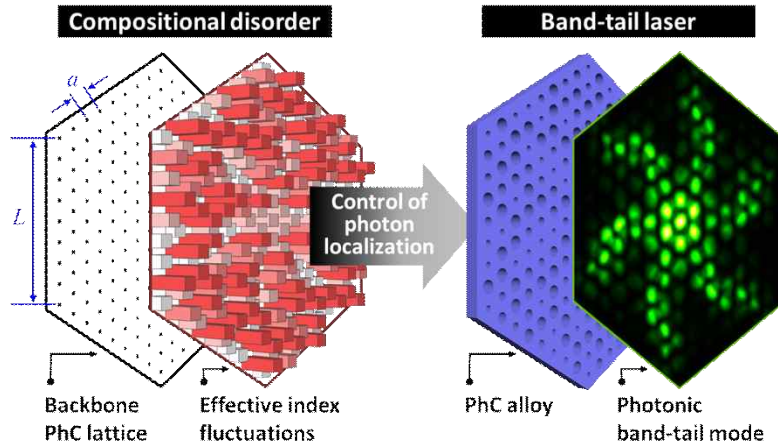
- 구조적 무질서를 포함하는 물리학적 계의 내부에 나타날 수 있는 현상으로서, 전자나 광자의 공간적 분포가 매우 좁은 영역에 국한되는 현상을 일컫는 용어이다. 앤더슨(Philip Anderson)이 이론적 가능성을 제시하였고, 그 공로로 1977년에 노벨 물리학상을 수상하였다.

## 5. 무작위 레이저(random laser)

- 무질서한 광학계에서 자발적으로 형성되는 광모드를 공진 모드로 사용하여 발진하는 레이저이다. 규칙적인 광 구조를 사용하는 일반적인 레이저와 달리 무질서한 구조를 갖는 무작위 레이저의 발광 특성은 예측하거나 제어하기가 매우 어렵다.

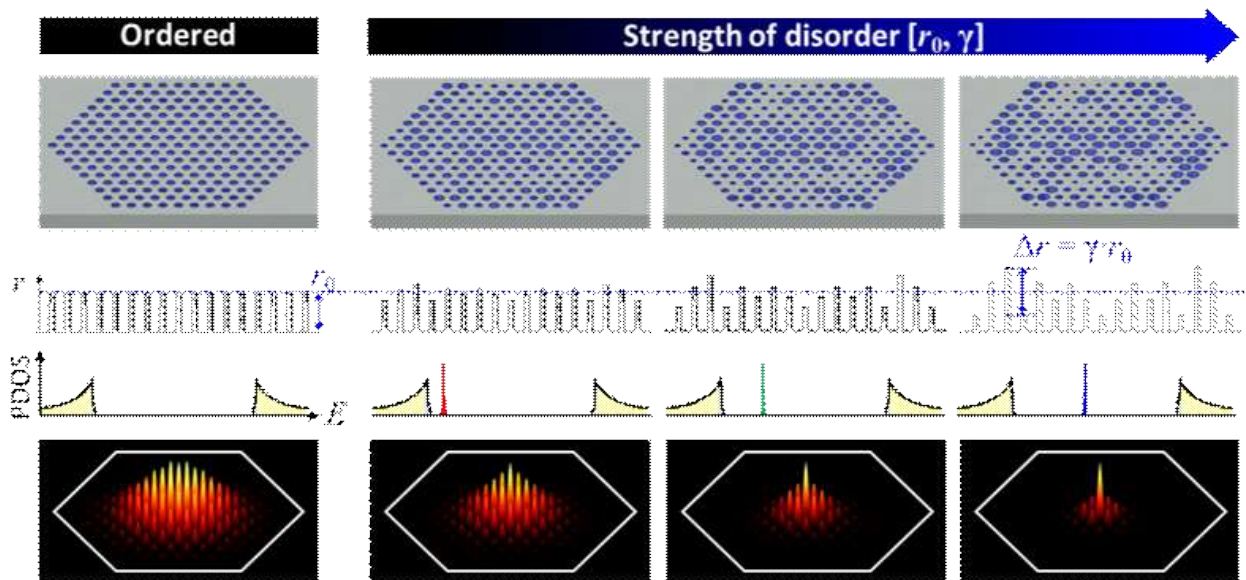
# 그림 설명

## 광자결정 합금에 기반한 무작위 레이저의 개념도



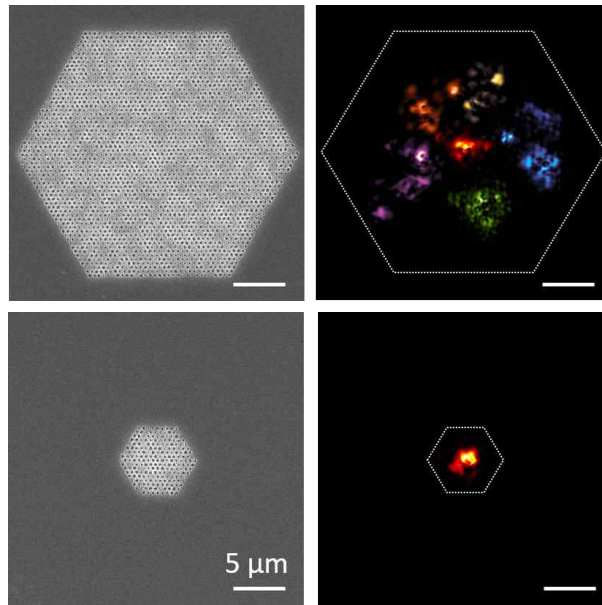
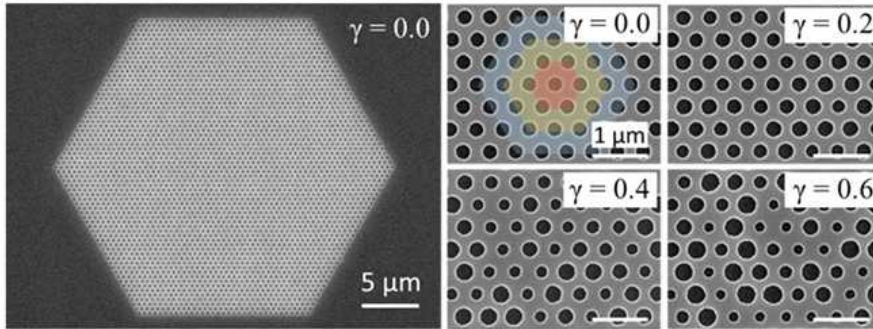
광자결정 합금계는 빛의 제어를 위한 핵심요소인 결정구조는 유지하되 광원자의 종류를 다분화 함으로써, 정교한 빛의 형상을 구현하기에 충분한 자유도가 확보된 광자학적 무질서계이다. 이러한 계에는 광 띠틈 내부에 광자 띠꼬리 상태가 발생되며, 본 연구에서는 앤더슨 국지화된 광자 띠꼬리 모드를 이용하여 무작위 레이저의 체계적 제어를 시연하였다.

## 무작위 레이저의 체계적 제어 원리에 대한 개념도



광자결정 합금계의 구조적 자유도를 이용하여 앤더슨 국지화된 광자 띠꼬리 모드의 공진 에너지와 공간적 분포를 제어할 수 있다. 본 연구진은 이러한 기반 기술을 무작위 레이저에 적용하여 발광 특성을 체계적으로 제어 가능성을 시연하였다.

### 단일모드 무작위 레이저의 구현



광자결정 합금계의 구조적 자유도를 앤더슨 국지화된 광자 띠꼬리 모드 발현에 적용하고 이로부터 단일모드 무작위 레이저로 구현하는 새로운 방법론을 제시하고 이를 시연하였다.

# 연구자 이력사항

## 1. 인적사항

- 이 름 : 전현수 교수
- 소 속 : 서울대학교 자연과학대학 물리천문학부
- 전 화 : 02-880-6265
- E-mail : hsjeon@snu.ac.kr



## 2. 학력

- 1981 - 1985 서울대학교 학사 (물리학)
- 1985 - 1987 서울대학교 석사 (물리학)
- 1988 - 1994 Brown Univ. 박사 (물리학)

## 3. 경력사항

- 1994 - 1995 Brown Univ. 박사후연구원
- 1995 - 1998 SDL, Inc. 연구원
- 1998 - 현재 서울대학교 교수
- 1999 - 현재 서울대학교 반도체공동연구소 반도체레이저연구실장
- 2005 - 2011 서울대학교 차세대융합기술연구원 부원장
- 2010 - 2012 서울대학교 자연과학대학 기획부학장
- 2014 - 2016 서울대학교 자연과학대학 학생부학장
- 2017 - 2018 서울대학교 자연과학대학 응용물리연구소장
- 2018 - 현재 서울대학교 자연과학대학 물리천문학부장

## 4. 기타 정보

- 서울대학교 연구상 (2011)