

이중클래드 광섬유 기반의 형광분광시스템을 이용한 quantum dots의 형광특성 분석

Analysis of quantum dots by using double-clad fiber based fluorescence spectroscopy system

유선영, 최해룡, 이병하, 김태훈*, 이강택*
광주과학기술원 정보통신공학과, *연세대학교 화공학과
syoun@gist.ac.kr

Quantum dot은 100~100,000 개의 반도체원자로부터 만들어지는 10 nm 이하의 미결정으로, 일반 형광 염료나 형광 단백질에 비해 넓은 흡수 파장 대역을 가지면서 안정적인 발광 특성을 보인다. 또한 입자의 크기 및 조성에 따라 가시광선에서 근적외선 영역이 이르는 다양한 발광 특성을 가지므로 특정 유전자나 단백질, 암세포 등에 대한 형광표지자로서 바이오 이미징, 약물 전달 시스템 등 넓은 범위에서 그 응용이 보고되고 있다^[1]. 이러한 quantum dot의 광학적 특성은 형광분광(Fluorescence spectroscopy) 시스템을 이용하여 측정할 수 있다. 형광분광 시스템은 단파장의 레이저 빔을 샘플로 조사하고, 샘플로부터 발생하는 형광 신호의 스펙트럼을 측정하여 물질 고유의 화학적 특성을 정량·정성적으로 분석할 수 있는 방법이다.

최근 광섬유 및 광섬유 소자 기술의 발달로 광섬유를 이용한 다양한 형광분광 프로브들이 활발히 보고되고 있다^[2]. 단일 광섬유 프로브의 경우 광섬유 하나로 구성되어 있어 구성이 간단하고 제작단가가 낮은 장점이 있지만, 광섬유 자체로부터 오는 형광노이즈 (autofluorescence noise)가 커서 형광신호를 효율적으로 측정할 수 없는 단점을 안고 있다. 반면, 다중 광섬유 프로브의 경우 광섬유 다발을 이용해 여기빔과 집광빔의 경로를 달리해 줌으로써 형광노이즈를 줄일 수 있지만 프로브 제작이 복잡하고 상대적으로 제작단가가 높아지는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 하나의 광섬유만으로도 여기빔 및 집광빔을 분리하여 측정할 수 있는 이중 클래드 광섬유 및 이중 클래드 광섬유 소자 기반의 형광분광 시스템을 제안하고, 이를 이용해 합성 과정의 온도에 따라 다양한 크기로 제작된 quantum dot의 형광 특성을 분석하고자 한다.

이중클래드 광섬유는 일반 통신용 광섬유와는 달리 내부 클래딩보다 낮은 굴절률을 가지는 외부 클래딩 층을 가지므로, 넓은 영역의 내부 클래딩에서도 빛의 전송이 가능한 특수 광섬유이다. 그러므로 클래드 층으로만 광 결합이 일어나는 이중클래드 광섬유 커플러를 제작하여, 집광된 형광 신호를 내부 클래딩 층을 통해 독립적으로 측정할 수 있는 형광분광 시스템을 구현하였다. 제작된 이중클래드 광섬유 커플러의 클래딩 모드 결합 효율은 약 30% 였다.

또한 이중클래드 광섬유 끝단에 광섬유로 이루어진 빔 확장구간을 접속한 후, 상용화된 아크 방전 시스템으로 렌즈를 형성시켜줌으로써 렌즈 일체형 이중클래드 광섬유를 제작하였다. 이는 여기빔을 비접촉으로 조사할 수 있도록 할 뿐 아니라 형광 신호를 효과적으로 집광할 수 있는 초소형의 전광섬유 형광분광 프로브의 구현을 가능하게 하였다.

그림 1(a)는 제작된 이중클래드 광섬유 소자들을 이용한 광섬유 기반의 형광분광 시스템을 보여준다. 단일 파장의 단파장빔(Ar-ion laser: 488 nm)은 이중클래드 광섬유 커플러의 샘플단으로 전송되어 이중클래드 광섬유 렌즈를 통해 샘플을 여기 시키고, 샘플로부터 발생한 형광 신호는 이중클래드 광섬유 렌즈를 통해 집광된 후 이중클래드 광섬유 커플러의 클래드 영역을 통해 반대 포트로 결합되어 spectrometer로 측정된다. 그림 1(b)의 사진은 CdO와 Se를 이용하여 유기 용매 내에서 kinetic growth method로 합성한 다양한 크기의 CdSe 나노입자를 보여준다. 375 nm의 자외선 하에서 입자의 크기가 커질수록 녹색에서부터 붉은색을 띠는 것을 알 수 있다. 이러한 발광 특성은 구현된 이중클래드 광섬유 기반의 형광분광 시스템을 통해 정량적인 스펙트럼 특성을 분석할 수 있었다. 그림 1(b)의 그래프는 488 nm의 여기빔을 통해 측정된 스펙트럼을 보여주며, 예상한 바와 같이 입자의 크기가 커질수록 장파장의 스펙트럼을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

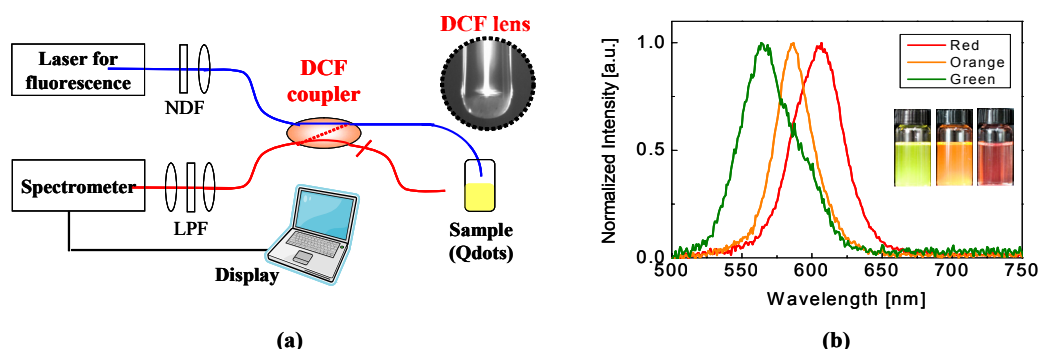


그림 1. (a) 이중클래드 광섬유 소자 기반의 형광분광 시스템 (NDF: neutral density filter, LPF: long pass filter) (b) 입자의 크기에 따라 자외선 하에서 각기 다른색을 발광하는 quantum dots(CdSe)의 사진과, 이중클래드 광섬유 기반의 형광분광 시스템으로부터 얻은 CdSe 입자들의 형광스펙트럼

본 연구에서는 이중클래드 광섬유 소자를 이용하여 초소형의 형광분광 시스템을 구현하였고, 다양한 크기로 제작된 quantum dots의 형광 특성을 정량적으로 측정하였다. 제작된 quantum dots은 표면 개질을 통해 생체 샘플을 위한 형광 표지자로 이용 가능할 것으로 기대되며, 하나의 프로브로 구성된 이중클래드 광섬유프로브는 quantum dots을 생체 샘플에 적용 시 협소한 부위의 형광신호 측정이 가능한 내시경 형태의 프로브로서 그 활용도가 높을 것으로 기대된다.

본 연구는 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원(No. R01-2007-000-20821-0)과 광주과학기술원의 GTI 과제와 의료시스템공학연구소(iMSE)의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

1. Z. A. Peng, X. Peng, J. Am. Chem. Soc, 123, 183-184 (2001).
2. N. Ramanujam, Neoplasia, 2, 89-117 (2000).