

THz 포토닉스의 최근 발전동향

Recent Progress in THz Photonics

한해욱

포항공과대학교 전기컴퓨터공학부

hhan@postech.ac.kr

최근에 전세계적으로 THz 대역에 관한 연구가 점차 늘고 있는 추세에 있다. THz 대역에서의 연구는 아직까지는 기초적인 학문으로서의 성격이 강하지만 최근의 연구동향을 보면 점차 응용기술로서의 중요성도 함께 강조되고 있는 경향을 보이고 있다. THz파 대역은 전통적인 광학과 마이크로파 대역의 중간에 위치하고 있으며 우리가 흔히 말하는 빛과 전자기파의 성질을 모두 가지고 있기 때문에 매우 흥미로운 연구대상이라고 할 수 있으며 상대적으로 연구가 거의 되어 있지 않은 마지막 주파수 대역이라고 할 수 있다. 본 강연에서는 이러한 THz photonics의 전반에 걸친 최근 연구동향과 주요 연구결과에 대해서 논하고자 한다.

현재 THz 대역에서의 연구는 THz 소자와 이를 바탕으로 한 THz 응용연구로 나뉘어질 수 있다. THz 소자는 크게 능동소자와 수동소자 연구로 나눌 수 있다. THz 능동소자란 주로 THz 광원을 말하며 전세계의 많은 연구자들이 효율과 출력을 높이기 위한 연구를 수행해 오고 있다. 그러나 실질적으로 THz 기술을 여러분야에 응용하기 위해서는 THz 도파로, 필터, 공진기와 같은 수동소자도 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 최근에는 이러한 THz 수동소자에 대한 연구도 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 이러한 THz 소자에 대한 활발한 연구에 힘입어 THz파를 이용한 응용연구는 고체, 액체, 기체, 플라즈마 등의 기본적인 물성 연구와 같은 전통적인 연구에서 반도체, THz 레이더, 통신, 그리고 가장 최근에는 생명공학 분야에 이르기까지 점차 그 응용분야의 폭을 넓혀가고 있다.

그 동안 많은 연구자들이 THz 광원을 개발하기 위해서 노력해왔고 많은 진전이 있었으나 아직까지 주파수 가변성, 효율, 출력, 사용의 간편성이라는 면에서 만족할만한 THz 광원은 개발되어 있지 않다. 최근의 연구 동향을 살펴보면 femtosecond 레이저를 이용한 전통적인 sub-picosecond THz 광원 연구에서 한 걸음 더 나아가 극소형 CW THz 광원과 가변형(tunable) THz 광원에 대한 연구로 발전되고 있는 추세이다. 가장 주목할 만한 연구결과로는 quantum cascade laser(QCL)와 THz photomixer를 들 수 있다. tunneling과 intersubband transition을 이용한 QCL의 경우 현재 10 THz 정도까지 mW급 출력을 내고 있다. 그러나 극저온에서만 동작한다는 단점이 있고 현재 동작주파수가 온도에 의해서 제한되는 물리적 한계를 부분적으로 극복하려는 시도가 진행되고 있다. photoconductive photomixing을 이용한 THz photomixer의 경우 DC에서 3 THz 이상까지 연속적으로 주파수를 가변할 수 있고 최대 1 mW 정도의 출력이 기대되고 있으며 현재 반도체 칩 크기 정도로 집적화하려는 연구가 진행되고 있다(그림 1). 그 외에 비선형 photomixing을 이용한 DFG와 OPO에 의한 quasi-CW THz 광원에 대한 연구와 거대장치인 자유전자 레이저의 소형화 연구도 상당한 진전을 보이고 있다.

THz 수동소자는 THz 광원과 달리 비교적 최근에 와서 본격적인 연구가 시작되었다. 이는 실질적인 THz 응용을 위해서는 THz 광원뿐만 아니라 THz 도파로나 필터와 같은 수동소자도 중요하다는 인식을 하기 시작했기 때문이다. 예를 들어 THz 도파로의 경우 기존의 금속 도파로나 유전체 도파로는 손실이

너무 크기 때문에 사용이 지극히 제한적이었다. 최근에 THz 수동소자 연구에 있어서 가장 주목할 만한 변화는 광결정(photonic crystal)과 surface plasmon 개념의 도입이라고 할 수 있다. THz 광결정 섬유(그림 2)와 coupled surface plasmon을 이용한 quasi-TEM THz 도파로의 연구가 주요한 예이다.

최근 THz 응용연구는 THz 분광학의 전통적인 연구대상에서 벗어나 상업적 응용 가능성이 높은 새로운 응용분야에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 가장 많은 관심을 끌고 있는 분야는 biomedical imaging & sensing이라고 할 수 있다. 예를 들어 유방암이나 피부암 조직을 THz imaging을 통하여 진단하는 경우 기존의 진단 방법에 비해서 훨씬 높은 해상도를 가질 수 있게 되며, 이미 몇 개의 연구그룹에서 기초 실험이 수행된 바 있다. 또한 THz sensing의 경우 DNA와 같은 biomolecule의 특성분석에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 나아가 이러한 기술을 바탕으로한 THz DNA chip(그림 3)에 대한 연구도 제안되고 있다.

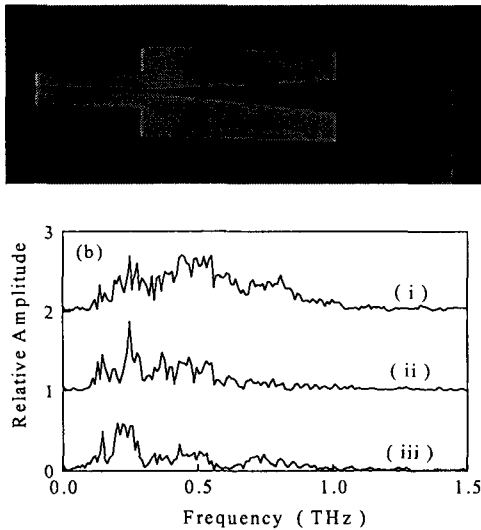


그림 1 제작된 THz photomixer의 사진(위)과 주파수 특성(아래)

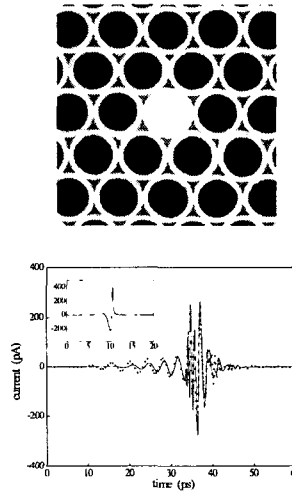


그림 2 제작된 THz 광결정섬유의단면사진(위)과 투과특성(아래)

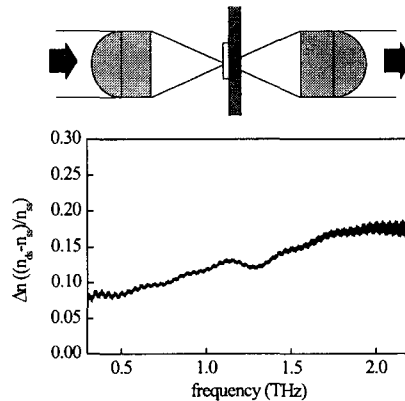
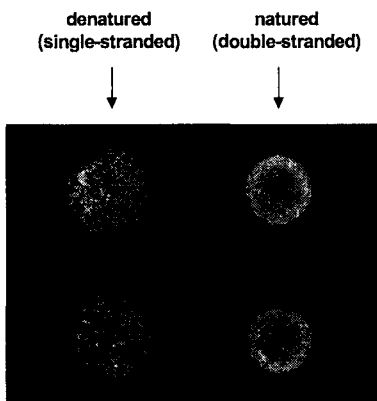


그림 3 DNA 샘플(좌)과 THz파를 이용한 굴절률 측정신호(우)

T
D