

광섬유 펄초 레이저를 이용한 Intra-cavity Absorption Spectroscopy Intra-cavity Absorption Spectroscopy with Femtosecond Fiber Laser

*조승환, #김수현

*S. H. Jo, #S. H. Kim(peaceall@kaist.ac.kr)

한국과학기술원 기계공학과

Key words : Intra-cavity, Femtosecond Fiber Laser, Ammonia

1. 서론

물질의 고유한 성질을 광학적 방법으로 측정하고 분석하는 분광학은 매우 오래전부터 광범위하게 연구되고 있다. 레이저를 이용하는 Laser Absorption Spectrometry(LAS)의 경우에는 물질의 절대량을 측정할 수 있다는 장점이 있지만, 신호의 작은 변화를 측정해야하기 때문에 노이즈에 매우 민감하다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점들을 보완하여 매우 낮은 농도의 가스들을 검출하기 위해, 1980년대 이후부터 고반사율의 거울 등을 이용하여 샘플과의 interaction length를 증가시켜 민감도를 향상시키는 방법이 연구되었다.[1]

최근에는 기존의 방법과는 다르게, 고반사율의 거울을 활용하는 장치보다 민감도는 낮아지만 정렬에서 자유로운 광섬유의 장점을 살리는 연구가 많이 시행되고 있다. 2011년 Hongxia Zhang 등은 어블 광섬유를 이득물질로 하여 저 농도의 가스를 탐지하는 Intra-cavity fiber laser system을 발표하였다. Fabry-parot 방식의 파장가변필터를 이용하여 측정하고자하는 주파수 대역을 스캔함으로써 물질의 광학적 흡수 스펙트럼을 획득하는 것이다.[2]

본 연구에서는 암모니아 가스의 흡수 스펙트럼을 스캔하는 과정 없이 한 번에 측정할 수 있도록 어블 광섬유로 구성된 펄초 레이저의 광대역 광원을 이용하는 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 탄소나노튜브를 포화흡수제로 활용하는 광섬유 펄초 레이저를 이용하여 광섬유의 장점과 수 nm의 spectral bandwidth가 주는 장점을 동시에 갖는다. 모드 잠금 된 광섬유 펄초 레이저는 일반적으로 크기가 작고 복잡한 정렬이 필요 없으며 외부환경에 강인하다는 장점을 가지고 있고, 높은 주파수밀도와 coherent한 특성으로 인해 향상된 신호 대 잡음비를 제공해준다.

2. 실험장치 구성

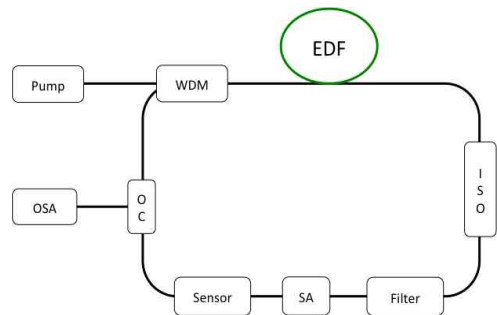


Fig. 1 Experimental setup. pump: 976nm LD, WDM: wavelength division multiplexer, EDF: erbium-doped fiber, ISO: isolator, SA: saturable absorber, OC: output coupler, OSA: optical spectrum analyzer

1.5 μ m대역에서 미량의 암모니아를 검출하기 위해 그림 1과 같이 어블 광섬유(EDF, Er80-4/125) 1.14m, 파장다중결합기(WDM), 광 격리기(Isolator), 단일모드광섬유(SMF, SMF-28) 등을 이용하여 어블 광섬유 레이저를 구성하였고, 레이저 출력의 중심파장을 1530nm로 이동시키기 위해 광섬유 방식의 대역통과 필터가 사용되었다.

최대 500mW의 출력을 가지는 펄프레이저에서 발생된 976nm의 빛은 WDM을 통해 공진기 내부로 입사되고 EDF에 흡수된다. 976nm를 흡수한 EDF는 1550nm 대역의 형광을 발하는데, 이 빛 들이 공진기 내부를 돌며 포화흡수제에 의해 모드잠금이 되어 짧은 펄스가 output coupler를 통해 발진된다. 공진기 내부를 순환하는 빛들은 매번 두 개의 collimation 렌즈로 이루어진 센서부분을 통과하게 되는데, 이때 암모니아 가스와 상호작용하게 되어 특정 파장에서 흡수가 일어나게 된다. 암모니아의 스펙트럼 정보를 가진 펄스들은 OSA에 의해서

분석된다. 사용한 collimation 렌즈들의 거리는 50.8mm이고, OSA의 파장 분해능은 0.05nm이며, output coupler의 coupling ratio는 50:50이다.

암모니아의 외부누출을 방지하고 수분 등 대기 중에 존재하는 다른 성분들의 영향을 배제하기 위해서 센서를 아크릴 상자 내부에 넣고 밀폐시켰으며, 두 개의 flow meter를 이용하여 순도 99%의 암모니아 가스와 질소가스를 혼합하여 샘플의 농도를 조절하였다.

3. 실험결과

실험은 모드 잠금이 되기 전 상태의 레이저와 모드 잠금이 일어난 후의 레이저로 실시하였다. 모드 잠금된 레이저는 7.3mW의 출력파워를 가지며 sprctral bandwidth와 반복률은 각각 3.2nm와 25MHz이다. 출력파워와 spectral bandwidth를 펄프 파워에 따라 변화한다.

그림 2는 시스템의 출력특성과 이를 통해 암모니아 가스의 스펙트럼을 측정된 결과를 보여준다. 측정된 암모니아의 주요 흡수선은 1531.65nm와 1532.60nm로 Lundsberg -Nielsen가 발표한 내용과 일치하는 것을 볼 수 있다.[3]

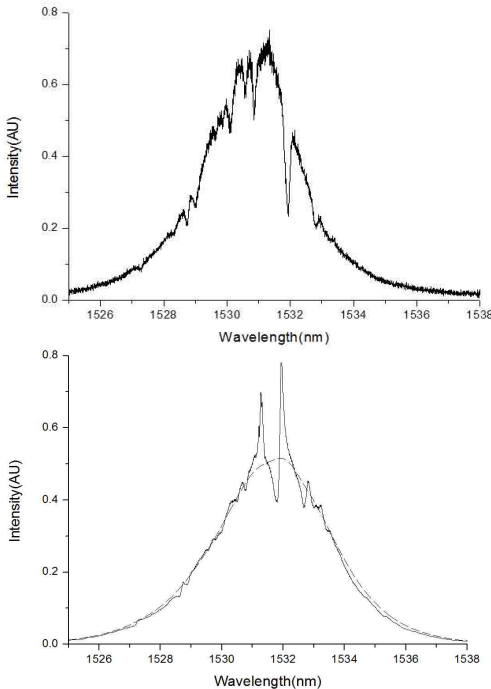


Fig. 2 Output spectrum upper) cw laser, lower) mode-locked laser

4. 결론

탄소나노튜브를 포화흡수제로 사용하는 광섬유 펄스 레이저의 공진기 내부에 두 개의 collimation 렌즈를 통해 공간을 만들고, 이를 통해 암모니아 가스를 검출하는 시스템을 구성하였다. 별도의 스캔하는 과정이 필요 없이 광대역 광원을 이용하여 한 번에 스펙트럼을 획득하는 것이 가능하다.

모드 잠금이 된 레이저로 흡수를 측정할 경우에는 흡수는 정상적으로 일어나지만 흡수가 일어난 파장 주위에 peak들이 생기는 것을 발견할 수 있었다. 이 peak들은 모드 잠금이 되는 과정에서 흡수가 일어나는 만큼의 에너지가 인접 파장으로 전이되는 것이라고 추정된다.

현재까지는 좁은 spectral bandwidth로 인해 여러 종류의 기체를 검출하기에는 제한이 되지만, 펄스 레이저를 증폭하여 spectral bandwidth를 넓히거나, 증폭된 레이저를 비선형 현상을 일으키는 물질에 입사시켜 supercontinuum을 발생시키면 많은 종류의 기체를 실시간으로 감시할 수 있는 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 교과부 2011년 ‘광대역 테라헤르츠파 발생을 위한 탄소나노튜브 포화흡수특성 제어 기반의 펄스 레이저 광펄스 생성법에 관한 연구’ 과제의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. A. O'Keefe, D. A. G. Deacon, "Cavity ring-down optical spectrometer for absorption measurements using pulsed laser sources", Rev. Sci. Instrum, **59**, 2544, 1988.
2. Hongxia Zhang, Kun Liu, Dagong Jia, Tianhua Xu, Tiegeng Liu, Gangding Peng, Wencai Jing, and Yimo Zhang. "Improved low concentration gas detection system based on intracavity fiber laser", American Institute of Physics, **82**, 2011.
3. L. Lundsberg-Nielsen, F. Hegelund, F. M. Nicolaisen, "Analysis of the High-Resolution Spectrum of Ammonia in the Near-Infrared Region, 6400-6900cm⁻¹", Journal of Molecular Spectroscopy, **162**, 230-245, 1993.