

양자폭포레이저를 이용한 화학 가스 센서

Chemical Sensing based on Quantum Cascade Laser

손상현, 신은철, 조성주, M. Allen*, 이선경*
 라이다텍 환경연구소, *Physical Science Inc.
 shany@lidartech.com

1. 서론

저 농도 가스 감지를 위한 레이저 흡수 분광법을 이용한 많은 연구가 보고되어 왔다.⁽¹⁾ 분자 스펙트럼 라인이 강한 중적외선영역에서의 lead-salt 레이저군을 이용한 가스센서 측정이 수행되어 왔으나, lead-salt 레이저 다이오드는 저온 동작의 어려움과 밴드간 전이에 의한 레이저 발진으로 인하여 장파장 레이저 발진에 한계가 있다.

1994년 Science에 소개된 상온 동작이 가능한 양자폭포 레이저(QCL)⁽²⁾는 부밴드간 전이(inter-subband transition)에서 레이저가 발진하는 원리상 동일한 반도체의 두께 조절만으로 파장변이 가능 할 뿐 아니라, 중적외선뿐 아니라 원적외선영역까지의 발진이 가능하다. 최근에는 THz 영역에서의 QCL 레이저 응용이 이루어 지고 있다.⁽³⁾

파장가변 양자폭포 레이저를 이용한 흡수 분광법에 의하여 ppb수준에서의 N₂O⁽⁴⁾, 배기가스에서 NO 및 CO⁽⁵⁾, NH₃⁽⁶⁾를 관측한 사례가 보고 되어 왔다.

2. QCL 가스 센서 개발

본 연구에서는 중심파장이 10.34 μ m 인 DFB-QCL의 파장변조에 의한 NH₃의 농도를 측정하는 가스센서 시스템을 개발하였다. 시스템 구성은 그림 1과 같으며, 자세히 살펴 보면 다음과 같다.

QCL 다이오드는 스위스 Alpes 社에서 주문 생산하였으며, 두 개의 포물경을 이용하여 일직선된 QCL빔은 빔 결합기를 이용하여 He-Ne 레이저에 정렬함으로써 광학적 취급이 가능하게 된다. 양자폭포 레이저는 온도변화에 따라 양자우물을 이루는 층간 두께를 변화시켜서, 부밴드간 전이(inter-subband transition) 에너지의 변화로 레이저 주파수 변조를 가능하게 한다.

그러므로, QCL의 온도와 펄스 전류를 변조함으로써 레이저를 모듈레이션(modulation) 하게 된다. DFB-QCL의 레이저 구동회로에 바이어스-T가 위의 역할을 하게 된다. 본 연구에서 사용하는 바이어스-T 소자에 2V 톱니파를 공급하면 약 1cm⁻¹ 주파수 변조를 할 수 있다.

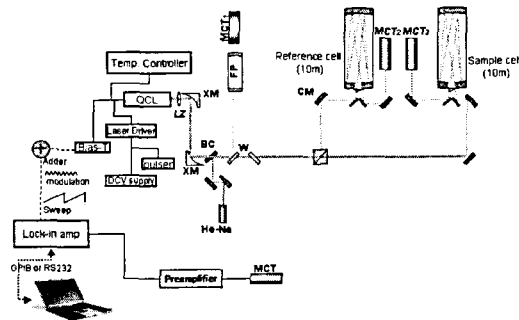
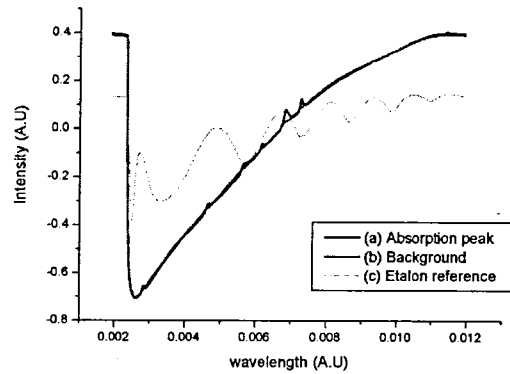


그림 1 DFB-QCL 흡수 분광법에 의한 가스 센서 시스템의 개략도.

5m의 광경로를 갖는 10Torr의 화이트 셀(white's cell)에 100ppm 농도의 NH₃ 표준시료를 튜니파에 의한 주파수 변조한 레이저로 측정한 결과를 그림 2에 나타내었다.

그림 2(a)에서 흡수 peak을 볼 수 있다. 그림 2(b)는 진공상태에서의 레이저 투과 세기를, 그림 2(c)에서는 FSR이 0.21cm⁻¹인 Ge etalon을 광경로에 삽입하여 파장변화의 기준을 잡도록 하였다. 그림 2에서와 같이 바이어스-T에 일정하게 변화하는 튜니파를 공급할 때, 레이저 파장 변화 간격 및 레이저 세기 변화가 선형적으로 변화하지 않는 점은 분광스펙트럼을 분석할 때 중요하게 작용한다. 레이저 온도는 -3℃를 기준으로 하였다.



100ppm NH₃은 N₂에 희석한 표준가스를 사용하였으며, 고순도 N₂의 첨가비를 조절하여 1ppm 이하를 갖는 NH₃를 공급하였으며, 레이저 온도를 변경하여 2.0cm⁻¹ 스캔영역에서의 NH₃ 분광스펙트럼을 얻을 수 있었다. 흡수율이 큰 파장에서 바이어스-T에 사인파를 공급하여 파장가변(WM) 분광을 수행하였다. 상기 실험 결과는 HITRAN⁽⁷⁾ 데이터베이스의 NH₃ 분자분광 자료와 비교하여 분석되었다.

3. 결론

Mid-IR 영역의 DFB-QCL를 이용하여 NH₃ 가스 농도 측정실험이 민군겸용과제의 일환으로 수행되었으며, 저 농도 가스 측정에 높은 선택성과 신뢰성을 갖는 Mid-IR 분광의 기반을 마련하였다.

4. 참고문헌

1. Joel A. Silver, "Frequency -modulation spectroscopy for trace species detection: theory and comparison among experimental methods", *Appl. Opt* **6**, 707 (1992).
2. J. Faister, F. Capasso, D. L. Sivco, C. Sirtori, A. L. Hutchinson, and A. Y. Cho, "Quantum Cascade Laser", *Science* **264**, 553 (1994).
3. Michel Rochat, Lassaad Ajili, Harald Willenberg, Jerome Faist, "Low-threshold terahertz quantum-cascade lasers", *Appl. Phys. Lett.* **81**, 1381 (2002).
4. K. Namjou, S. Cai, E. A. Whittaker, J. Faist, C. Gmachl, F. Capasso, D. L. Sivco, and A. Y. Cho, "Sensitive absorption spectroscopy with a room-temperature distributed-feedback quantum-cascade laser", *Opt. Lett.* **23**, 219 (1998).
5. Shawn Wehe and Mark Allen, "NO and CO Absorption Measurements with a Mid-IR Quantum Cascade Laser for Engine Exhaust Applications", *AIAA* **41**, 588 (2003).
6. Anatoliy A. Kosterev, Robert F. Curl, Frank K. Tittel et al, "Transportable automated ammonia sensor based on a pulsed thermoelectrically cooled quantum-cascade distributed feedback laser", *App. Opt.* **41**, 573(2002).
7. L. S. Rothman, R. R. Gamache, et al, "The HITRAN Molecular Spectroscopic Database and HAWKS : 1996 Edition" *Appl. Opt.* **26**, 4058 (1997).

FC