

반도체 레이저를 이용한 파장변조 분광 기술의

신호 대 잡음 비 측정

Measurement of The Singal-to-Noise Ratio in

Wavelength Modulation Technique using Diode Lasers.

김택수, 고광훈, 권덕희, 정의창, 김철중

한국원자력연구소, 양자광학팀

kimts@kaeri.re.kr

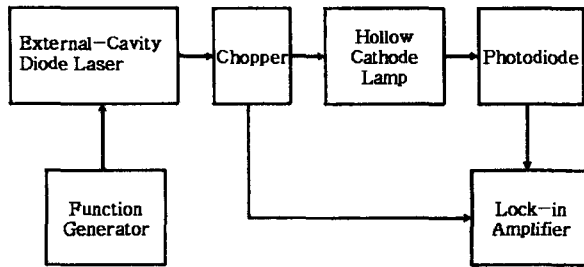
원자력 발전소에서 사용되는 연료의 효율을 증가시키기 위해서는 반응로에서 연소된 연료에 잔존하는 미량의 란탄족 (lanthanide)과 악티늄족 (actinide) 원소를 측정하고, 동위원소 성분비를 분석하는 작업이 필요하다. 이러한 미량원소 측정에는 흡수분광학 (absorption spectroscopy) 방법이 주로 사용되고 있다. 최근 들어 단일 종 모드 (single-longitudinal mode) 반도체 레이저가 개발되면서 미량원소 분석을 위한 분광 기술이 급속히 발전하고 있다. 반도체 레이저는 동작시킴 때 전력소모가 적고, 설치 공간이 작다는 점 때문에 현장 적용이 용이하므로 미량원소 측정 연구의 광원으로 많이 활용되고 있다.

반도체 레이저를 이용한 미량원소 분석 기술로는 파장을 변조시킨 레이저빔의 흡수 스펙트럼을 변조진동수 또는 그것의 조화진동수에서 측정하는 진동수 변조 (frequency modulation) 방법이 대표적이다. 진동수 변조 방법은 높은 변조진동수를 사용하여 레이저 광원의 잡음을 제거함으로써 측정감도를 높일 수가 있으며, 통상적으로 kHz 영역의 변조진동수를 사용할 때 10^{-4} - 10^{-5} 의 흡수도 (absorbance)를 측정할 수 있고 이를 파장 변조 (wavelength modulation) 방법이라고 한다.

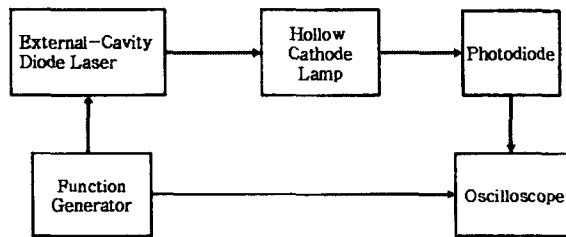
이 연구에서는 흡수 스펙트럼의 신호 대 잡음비 (S/N 비)를 방법별로 측정, 비교하였다. 미량분석의 검출 감도(detection sensitivity)는 검출기의 잡음과 광원의 세기 변화에 의해 영향을 받는다. 흡수 스펙트럼의 검출 감도를 높이기 위해 레이저의 세기를 변조시키면서 lock-in 증폭기를 사용한 경우와 레이저의 파장을 수백 Hz로 변조시키면서 오실로스코프로 측정한 경우의 S/N 비를 측정하였다. 전자의 방법은 lock-in 증폭기의 시간 상수 (time constant)를 길게 잡을 때 S/N 비를 높일 수 있는 장점이 있으나 스펙트럼을 얻는데 걸리는 시간이 길다는 점이 단점으로 지적될 수 있다. 고차의 조화진동수를 사용하는 파장 변조 방법을 통해 S/N 비를 높일 수 있다는 점이 가장 큰 장점이다. 후자의 방법은 스펙트럼을 실시간으로 측정할 수 있는 장점이 있으나, S/N 비를 높이기 위해서 여러 개의 스펙트럼을 모아 평균해야 된다는 단점이 있다. 각각의 방법으로 측정한 S/N 비 측정 결과를 논의한다.

레이저 광원으로는 중심파장이 850 nm인 외부 공진기 (external-cavity) 구조의 반도체 레이저를 사용하였고, 대상 원자는 우라늄이다. 속이 빈 음극 방전관이 원자화 장치로 사용되었고, 방전관에서 발생된 우라늄 원자의 860.795 nm 전이선에 대한 S/N 비를 측정하였다. 실험 장치는 그림 1과 같다. 레이저 빔의 출력은 0.04 mW이다. 860.795 nm 전이선에서 레이저 광원의 세기를 변조 (intensity modulation) 시키면서 Lock-in 증폭기를 사용한 경우와 레이저 파장을 수백 Hz로 변조시키면서 오실로스코프로 측정한 경우의 신호 대 잡음비를 비교하였다. 각 방법별로 측정한 신호 대 잡음비를 표 1에 정리하였다. 레이저의 세기 변조 후 lock-in 증폭기를 사용한 경우에 측정한 스펙트럼의 S/N 비와 오실로스코프로

측정한 스펙트럼의 S/N 비는 거의 유사하고, 고차의 조화진동수를 사용하는 파장변조 방법을 통해 얻은 스펙트럼의 S/N 비가 가장 크게 측정되었다.



(a)



(b)

그림 1. 실험장치 개략도. (a) Lock-in 증폭기를 사용하는 경우, (b) 오실로스코프를 사용하는 경우.

표 1. 신호처리 방법에 따른 신호 대 잡음비

신호처리 방법	세기 변조	오실로스코프	파장 변조
S/N 비	18.5	20.1	>50

참고문헌

1. A.N. Dharamsi, A.M. Bullock, Appl. Phys. B 67, 517-523(1998).
2. H.D. Wizemann, Fresenius J. Anal Chem., 366, 152-155(200).
3. K. Uehara, Appl. Phys. B, 63, 283-292(1996).