

반도체 레이저를 이용한 증기 증착 감시용 원자흡수 분광계

Atomic Absorption Spectrometer for Monitoring Vapor Deposition Using Semiconductor Laser

정의창, 고평훈, 노시표, 임창환, 김철중
 한국원자력연구소 양자광학팀
 ecjung@kaeri.re.kr

금속 증기의 증발은 합금, 고온 초전도체, 반도체 소자 등을 제조하는데 필수적인 공정이다. 증발되는 증기의 양을 실시간으로 측정하고, 이를 이용하여 역으로 증발량을 제어하는 것은 증발과정을 이용해 양질의 소자를 만드는 과정에서 핵심 기술이다. 증발되는 증기의 양을 측정하기 위해 널리 사용되고 있는 기술에는 수정결정 떨개 (quartz crystal oscillator)를 사용해 증기의 선속을 측정하는 것과 증발되는 증기의 원자흡수 스펙트럼 (AAS : Atomic Absorption Spectrum)을 이용하여 증기밀도를 측정하는 방법이 있다. 전자의 방법은 진공용기 내부에 수정결정 떨개 장치를 직접적으로 설치해야 하고, 증발되는 금속의 종류에 따라 증착된 무게를 계산하기 위한 값을 설정해 주어야 하는 등의 번거로움이 따른다. 후자의 방법은 광원을 비롯한 장치들이 진공용기에 직접적으로 접촉함이 없고, 진공용기의 배경 압력 (background pressure)에 무관하며, 증기의 종류에 따라 특정한 파장을 이용한다는 면에서 장점이 있다.

원자흡수 스펙트럼을 측정하기 위해 속이 빈 방전램프 (HCDL : Hollow Cathode Discharge Lamp)가 광원으로 많이 사용되어 왔으나, 90년대 중반 이후부터 소형의 반도체 레이저를 광원으로 사용하는 기술이 개발되고 있다. 반도체 레이저는 좁은 선폭, 파장 가변성, 높은 출력, 공간적 결맞음 등의 특성을 가지기 때문에 HCDL 보다 우수한 광원으로 인식되고 있다. 더구나 파장 변조 (wavelength modulation), 진동수 변조 (frequency modulation) 방법과 같은 분광학적 기술을 이용하면 10^{-6} 이하의 흡수도 (absorbance)까지 측정할 수 있으므로 측정 감도 면에서도 대단히 우수하다.

이 연구에서는 반도체 레이저의 근적외선 파장과 근적외선 파장의 제 2 고조파 발생을 통한 자외선 영역 (390~398 nm)의 파장을 이용하여 AAS를 측정한 결과를 정리하였다. 그림 1에 실험장치를 보였다. 광원으로는 출력이 수 mW, 선폭이 ~2 MHz인 외부 공진기형 단일 종모드 (single-longitudinal mode) 반도체 레이저를 사용하였다. 제 2 고조파를 발생시킬 때에는 단일 종모드의 선폭을 유지하면서, 출력을 수백 mW로 증가시킬 수 있는 MOPA (Master Oscillator Power Amplifier) 장치를 구성하여 사용하였다. 원자증기를 발생시키기 위해 15 kW급의 전자총 (Airco Temescal Co., model SFIH-270-3)을 사용하였다. 레이저의 외부 공진기 길이를 100 Hz로 변조시키는 방법으로 레이저의 파장을 원자 전이선 (atomic transition line) 주위로 흔들면서 원자흡수 스펙트럼을 오실로스코프로 측정하였다. 그림 2에 원자력 산업용 소재로 사용되는 가돌리늄 (Gd) 금속의 자외선 영역의 원자흡수 스펙트럼 (394.263 nm, $215\text{-}25572\text{ cm}^{-1}$)을 보였다. 그림에 나타난 각 봉우리는 가돌리늄 원자의 동위원소를 뜻한다. 초전도체 제조에 사용되는 Ba, Y 금속, 반도체 제조에 사용되는 Ga, In, Al 금속, 합금 제조에 사용되는 W, Ti 금속의 증기 증착 감시에 이용될 수 있는 각 원소의 특정 파장과 그 파장을 만들 수 있는 반도체 레이저 시스템에 대해 설명하고자 한다.

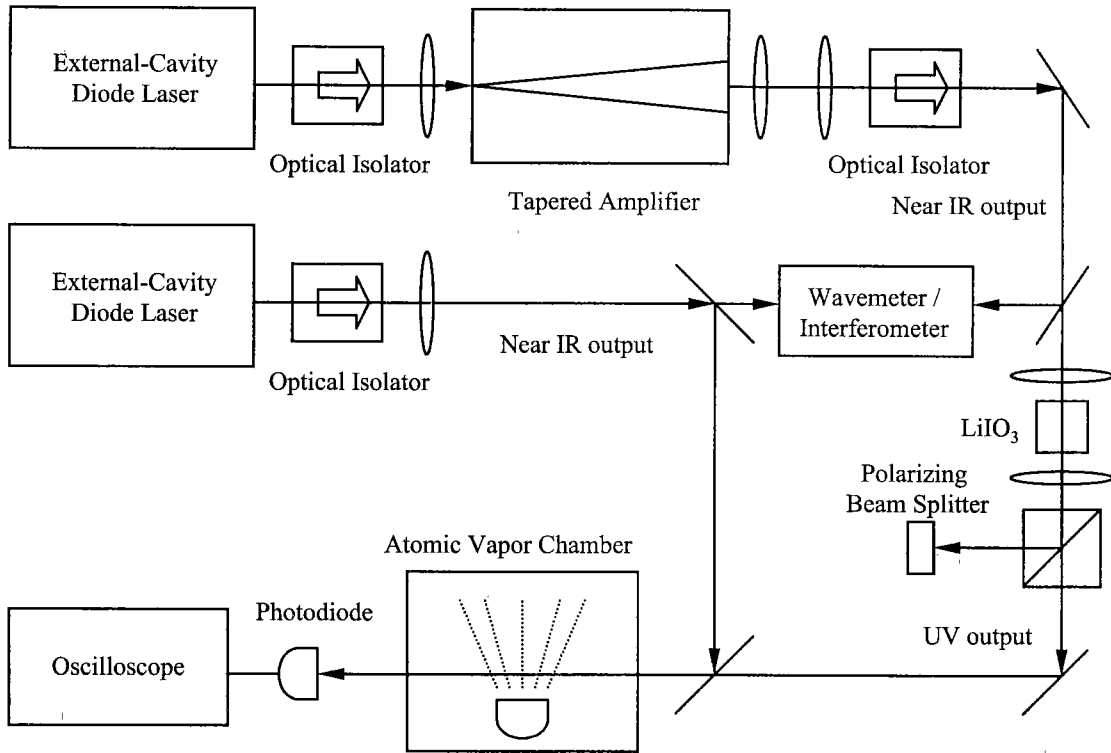


그림 1. 원자흡수 분광계 구성도.

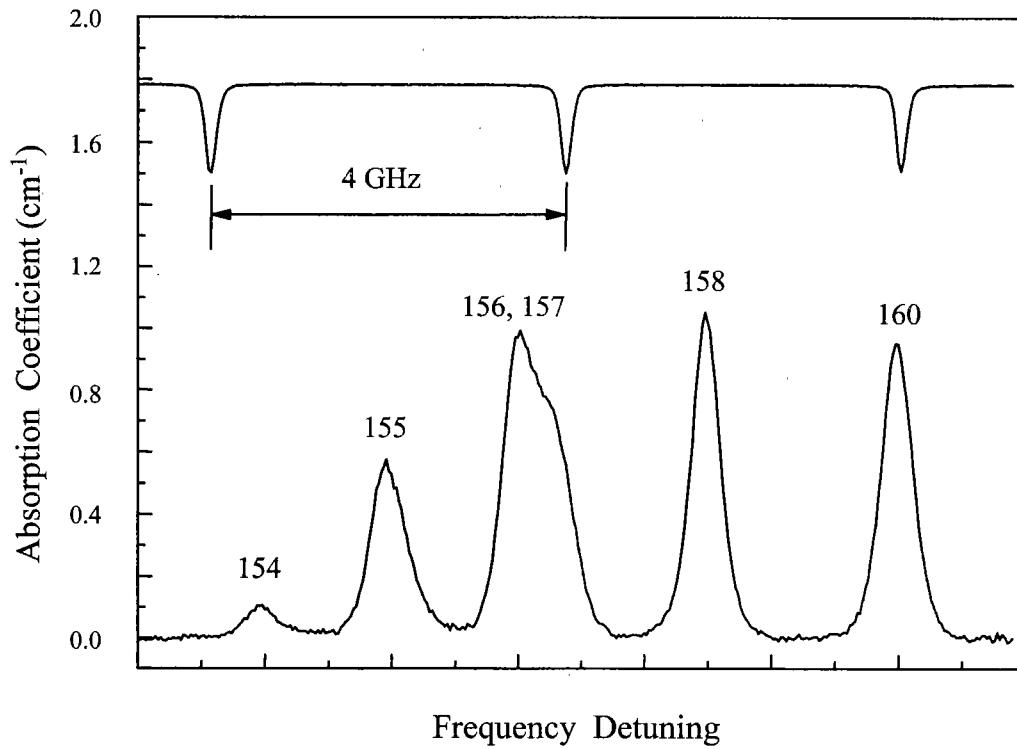


그림 2. 가돌리늄 증기의 원자흡수 스펙트럼 (394.263 nm, 215-25572 cm^{-1}).