

# Gd 증기 증착용 394.55 nm 전이선의 전이확률 측정

## Measurement of the transition probabilities at 394.55 nm for physical vapor deposition of Gd

고광훈, 정의창, 김택수, 권덕희, 노시표, 김철중  
한국원자력연구소  
khko@kaeri.re.kr

원자력 산업용 중성자 흡수체 제조에 사용되는 Gd 금속증기 발생기에 설치할 목적으로 394.55 nm 전이선의 전이확률을 측정된 결과를 보고한다. 증기 증발률을 장시간 동안 일정한 양으로 유지하기 위해서는 증기밀도가 실시간으로 측정되어야 하고, 이를 위해 반도체 레이저를 광원으로 사용하는 원자흡수 분광계를 제작하고 있다. 전자빔 가열로 발생된 원자빔은 가속된 전자빔과의 충돌에 의하여 가열표면의 온도를 알면 설명할 수 있는 일반적인 원자빔 성질과는 매우 다른 특성을 가지고 있다. 증기의 팽창 과정 동안 증기속도는 증가하고 전자온도 (electronic temperature)는 감소하는 것이 대표적인 특성이다. 특히, 준안정 에너지 준위 (metastable energy level)가 많은 희토류 원자증기의 경우에는 전자온도의 감소로 인해 바닥 준위 (ground level)를 포함한 낮은 준위 준위의 준위밀도 (population density)가 현저하게 증가되는 경향이 있다.

최근 수년간 반도체 레이저와 반도체 레이저의 제 2 고조파를 이용한 근적외선 및 자외선 파장 영역에 대한 원자분광 실험을 수행하였다. 반도체 레이저를 사용함으로써 흡수 분광계의 규모를 줄일 수가 있고, 전이확률이 큰 자외선 파장을 사용함으로써 분광 스펙트럼의 신호 대 잡음비를 높일 수가 있다. 준위분포에 따른 원자빔의 전자온도를 측정하기 위해서는 적어도 두 개 이상의 준안정 에너지 준위의 밀도가 실시간으로 측정되어야 하므로 두 개 이상의 레이저 파장이 사용되어야 한다.

이 논문에서는 Gd 원자의 394.55 nm 전이선에 대한 최근의 실험 결과를 발표한다. 이 파장을 사용할 경우에는 약 9.5 GHz 만큼 떨어져 있는 두 개의 전이선 ( $0 - 25337.755 \text{ cm}^{-1}$ ,  $999 - 26337.071 \text{ cm}^{-1}$ )에 대한 흡수 스펙트럼을 동시에 측정할 수 있다는 장점이 있으므로 분광계의 구성이 보다 간편해진다. 그러나 이 전이선에 대한 신뢰성 있는 전이확률 값이 알려지지 않았으므로 이 값들을 측정하였다. 준위밀도를 정확하게 알고 있는 증기 발생기 시스템에 394.55 nm 전이선을 통과시켜 원자흡수 스펙트럼을 측정하였고, 다음 식을 사용하여 전이확률 ( $g_2A$ ) 값을 결정하였다.

$$N = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \frac{g_1}{g_2A} \cdot \int a_\nu d\nu, \quad (a_\nu = -\ln \frac{I(\nu)}{I_0})$$

위 식에서  $\lambda$ 는 흡수 파장이고,  $a_\nu$ 는 흡수계수이다.  $I(\nu)$ 와  $I_0$ 는 각각 투과광과 입사광의 세기를 나타낸다. 흡수 스펙트럼의 면적은 위 식의 적분에 해당되고, 사용한 증기 발생기의 준위밀도 ( $N$ )를 알고 있으므로  $g_2A$  값을 계산할 수 있다.

그림 1에 실험장치를 보였다. 상용의 전자총 (Airco Temescal Co., SFIH-270-3)을 사용하여 원자증기를 발생시켰고, 전이확률 값이 알려진 8 개의 전이선을 사용하여 준위밀도를 정밀하게 측정하였다. 도가니로부터 140 mm 상단에 폭 10 mm의 슬릿을 설치하였다. 반도체 레이저는 MOPA (Master Oscillator Power Amplifier) 구조이며, 증폭된 출력은 중심 파장 785 nm, 선폭 3 MHz, 출력 600 mW이다. 10 mm 길이의 LiIO<sub>3</sub> (Casix Inc.)

결정에서 발생된 제 2 고조파의 출력은 약  $10 \mu\text{W}$ 이다. 레이저의 파장을 80 Hz의 반복율로 흔들어 주었고, lock-in 증폭기 대신 오실로스코프를 사용하여 흡수 스펙트럼을 실시간으로 측정하였다. 그림 2에 측정된 두 전이선의 흡수 스펙트럼을 보였고, 표 1에 측정된 전이확률 값을 정리하였다.

결론적으로 원자증기의 감시방법으로써 Gd 원자의 준평형상태의 밀도측정에 사용되는 두 개의 전이선 ( $0 - 25337.755 \text{ cm}^{-1}$ ,  $999 - 26337.071 \text{ cm}^{-1}$ )의 흡수 스펙트럼으로부터 전이확률을 측정하였다.

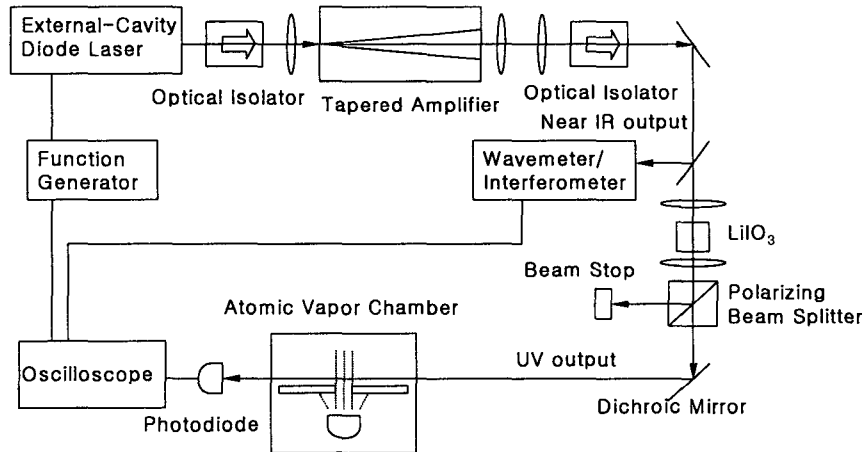


그림 1. 실험장치.

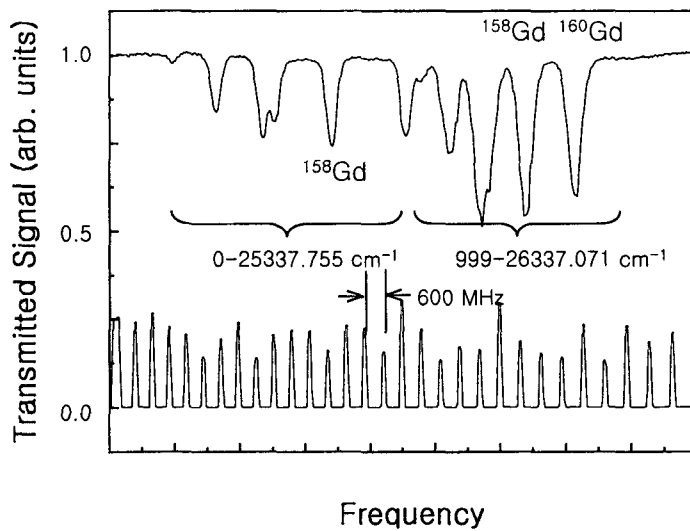


그림 2. 394.55 nm 전이선의 흡수 스펙트럼.

표 1. 에너지 준위, 측정된 전이확률.

Lower Level ( $\text{cm}^{-1}$ )	Upper Level ( $\text{cm}^{-1}$ )	$gA$ ( $\times 10^8 \text{ s}^{-1}$ )
0	25337.755	0.242
999	26337.071	4.91